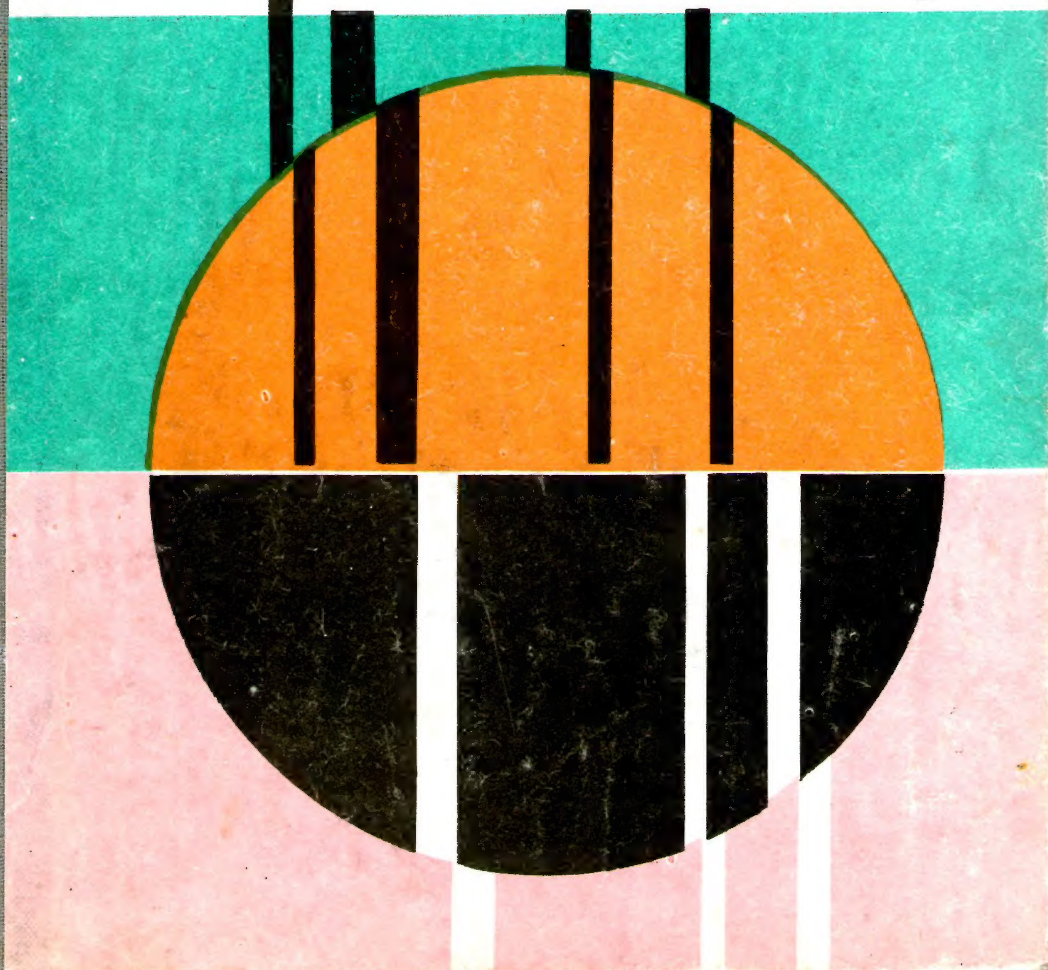
EUGENIA ISAC

MINISTERUL ÎNVĂȚĂMÎNTULUI ȘI ȘTIINȚEI

MĂSURĂRI ELECTRICE ȘI ELECTRONICE

MANUAL PENTRU CLASELE A X-A, A XI-A ȘI A XII-A



MINISTERUL ÎNVĂȚĂMÎNTULUI ȘI ȘTIINȚEI

Ing. EUGENIA ISAC
prof. gr. I

MĂSURĂRI ELECTRICE ȘI ELECTRONICE

MANUAL PENTRU CLASELE a X-a, a XI-a și a XII-a,
LICEE CU PROFIL DE ELECTROTEHNICĂ ȘI ELECTRONICĂ, MINE, PETROL, METALURGIE, CONSTRUCȚII-MONTAJ, TRANSPORTURI și AGRICULTURĂ



EDITURA DIDACTICĂ ȘI PEDAGOGICĂ,
BUCUREȘTI — 1991

Manualul de față constituie reeditarea manualului cu același nume pentru clasa a X-a, ediția 1981, și a celui pentru clasa a XI-a, ediția 1982, elaborate conform programei școlare aprobate de MEI cu nr. 36213/1981

Referenți: dr. ing. *Aurel Millea*;
Brîndușa Bolocan, prof. ing.

Redactor: ing. *Monica Ursea*
Tehnoredactor: *Ion Mirea*
Coperta: *V. Wegemann*

ISBN 973-30-1635-7

INTRODUCERE

În etapa actuală de dezvoltare a societății românești, aproape că nu există domeniu al activității economico-sociale în care să nu se folosească instalații și aparate electrice și electronice. Larga răspîndire a acestora, precum și diversificarea și perfecționarea lor, necesită cadre bine pregătite, capabile să răspundă cerințelor impuse de dezvoltarea științei și tehnicii contemporane.

În scopul asigurării unei activități cît mai eficiente, în vederea obținerii unei producții maxime și de calitate în domeniul electric, toți participanții la procesul de producție, de la muncitor pînă la cercetător, trebuie să cunoască aparatele și metodele de măsurat și utilizarea lor corectă.

Obiectul de învățămînt „Măsurări electrice și electronice" are scopul să asigure însușirea cunoștințelor, priceperilor și deprinderilor necesare, în legătură cu aparatele și metodele de măsurat, contribuind astfel la o bună formare profesională a viitorilor electricieni și electroniști.

Capitolul 1

MĂSURĂRI, MIJLOACE ȘI METODE DE MĂSURARE

A. MĂSURĂRI

În activitatea practică se întîlnesc diferite mărimi fizice, care se deosebesc între ele calitativ, după natura lor (lungimi, suprafețe, presiuni, temperaturi, tensiuni, puteri, rezistențe etc.), și cantitativ. Evaluarea cantitativă a unei mărimi de o anumită natură se realizează prin măsurare. Deci: **măsurarea** *este procesul prin care se evaluează cantitativ mărimile fizice de același fel.*

A măsura o mărime M *înseamnă a o compara cu o mărime de aceeași natură, U, considerată convențional drept unitate de măsură, și a vedea de cîte ori unitatea de măsură se cuprinde în mărimea de măsurat.*

Procesul de măsurare se poate exprima prin raportul dintre mărimea de măsurat M și unitatea de măsură U, iar rezultatul măsurării reprezintă valoarea numerică V a mărimii de măsurat:

$$\frac{M}{U} = V. \tag{1.1}$$

Conform relației (1.1), mărimea de măsurat se poate exprima prin:

$$M = V \cdot U. \tag{1.2}$$

○ **De reținut!** *Expresia* $M = V \cdot U$ *arată că ori de cîte ori se exprimă o anumită mărime, trebuie menționată și unitatea de măsură, multiplii sau submultiplii acesteia* (de exemplu: $I = 2A$; $R = 1$ kΩ; $C = 100$ μF.).

1. UNITĂȚI DE MĂSURĂ

Așa cum s-a arătat, pentru a măsura o mărime este necesar să fie stabilită unitatea de măsură a acelei mărimi.

Unitatea de măsură *este o mărime de aceeași natură cu mărimea de măsurat, aleasă în mod convențional.*

În trecutul îndepărtat, în țara noastră, oamenii conveniseră să măsoare lungimile cu cotul sau prăjina, iar capacitățile — cu găleata sau cu vadra. O dată cu dezvoltarea științei și tehnicii și cu dezvoltarea schimburilor și cooperărilor dintre oameni, a fost necesar ca unitățile de măsură să fie stabilite cît mai precis și să fie recunoscute de cît

mai mulți oameni. Unitățile de măsură ce se folosesc în prezent au fost stabilite prin convenții internaționale, ținîndu-se seama de nivelul de cunoaștere al omenirii la data stabilirii lor.

2. SISTEME DE UNITĂȚI DE MĂSURĂ

Deoarece pentru a efectua o măsurare este necesar să se cunoască unitatea de măsură corespunzătoare mărimii fizice ce se măsoară, trebuie să existe pentru fiecare mărime fizică cîte o unitate de măsură (de exemplu: pentru lungimi — metrul, pentru timp — secunda, pentru intensitatea curentului electric — amperul ș.a.m.d.).

Din mulțimea de unități de măsură, unele, în număr restrîns, au fost definite independent de altele, și de aceea ele au fost denumite *unități fundamentale*. Celelalte unități de măsură, care se numesc *unități derivate*, pot fi definite în funcție de unitățile de măsură fundamentale pe baza legilor și a relațiilor care leagă între ele mărimile fizice corespunzătoare.

Totalitatea unităților fundamentale și derivate dintr-un anumit domeniu alcătuiesc un **sistem de unități de măsură.**

Au fost folosite mai multe sisteme de unități de măsură, care diferă între ele prin unitățile fundamentale adoptate. Astfel, în tehnică se folosea sistemul practic MKSA, în timp ce în fizică era preferat sistemul CGS. În electromagnetism era folosit sistemul CGS electromagnetic ($CGS\mu_0$), în timp ce în electrostatică se prefera sistemul CGS electrostatic ($CGS\,\varepsilon_0$). Am mai putea da, în acest sens, numeroase exemple.

3. SISTEMUL INTERNAȚIONAL

Avînd în vedere faptul că la un moment dat se foloseau diferite sisteme de unități de măsură, ceea ce complica relațiile dintre diferite domenii de activitate, la cea de-a XI-a Conferință Generală de Măsuri și Greutăți, care a avut loc la Paris în 1960, s-a propus adoptarea unui sistem de unități de măsură care să satisfacă toate domeniile științifice și tehnice. În acest fel, s-a adoptat Sistemul Internațional al Unităților de Măsură, cu simbolul SI, care are șapte unități fundamentale și două unități complementare.

Unitățile fundamentale sînt:

— *metru* — cu simbolul m, pentru lungimi;
— *kilogram* — cu simbolul kg, pentru masă;
— *secundă* — cu simbolul s, pentru timp;
— *amper* — cu simbolul A, pentru intensitatea curentului electric;

— *kelvin* — cu simbolul K, pentru temperatura termodinamică;
— *candelă* — cu simbolul cd, pentru intensitatea luminoasă;
— *mol* — cu simbolul mol, pentru cantitatea de substanţă.

Unităţile complementare sînt:
— *radian* — cu simbolul rad, pentru unghi plan;
— *steradian* — cu simbolul sr, pentru unghi solid.

În funcţie de aceste unităţi fundamentale şi complementare se pot defini toate celelalte unităţi de măsură derivate.

În ţara noastră Sistemul Internaţional a fost adoptat în 1961 ca sistem de unităţi de măsură legal şi obligatoriu. Legea metrologiei nr. 27/1978 stabileşte că, în cazuri justificate, pot fi utilizate ca unităţi de măsură legale şi alte unităţi în afara sistemului SI, cum sînt : grad Celsius pentru temperatură, bar pentru presiune, kilogramforţă pentru forţă etc. Unităţile de măsură legale sînt specificate în anexa care face parte din legea metrologiei.

B. PROCESUL DE MĂSURARE

Într-un proces de măsurare se porneşte de la mărimea de măsurat, care constituie obiectul măsurării. Apoi se stabileşte cu ce se va executa măsurarea şi cum se va face aceasta. Avînd în vedere cele de mai sus, putem spune că în procesul de măsurare intervin următoarele elemente:
— *obiectul măsurării* (ce se măsoară?);
— *mijloacele de măsurare* (cu ce se măsoară?);
— *metodele de măsurare* (cum se măsoară?).

1. MIJLOACE DE MĂSURARE

Mijloacele de măsurare *reprezintă totalitatea mijloacelor tehnice utilizate în procesul de măsurare.*

• **În funcţie de complexitatea lor,** mijloacele de măsurare se împart în:
— *măsuri*;
— *aparate de măsurat*;
— *instalaţii de măsurare.*

Măsura *este materializarea unităţii de măsură sau a unui multiplu sau submultiplu al acesteia.*

Exemple: metrul (din lemn sau din metal), ruleta (de 1m sau de 10m), rezistorul etalon, condensatorul etalon etc.

Aparatul de măsurat *este un sistem tehnic care permite determinarea cantitativă a mărimilor ce se măsoară.*

Exemple: ampermetrul, voltmetrul, ohmmetrul etc.

Instalaţia de măsurat *este un ansamblu de aparate şi măsuri conectate între ele după o anumită schemă, în scopul unor măsurări.*

Exemple: instalaţia folosită la măsurarea rezistenţelor electrice prin metoda ampermetrului şi voltmetrului, instalaţiile utilizate la etalonarea aparatelor de măsurat electrice, instalaţiile de telemăsurări etc.

• **După precizia lor,** mijloacele de măsurare se împart în:
— *mijloace de măsurare etalon* sau *etaloane*;
— *mijloace de măsurare de lucru.*

Mijloacele de măsurare etalon sînt cele mai precise mijloace de măsurare. *Ele servesc la definirea, materializarea, conservarea sau reproducerea unităţii de măsură în scopul transmiterii unităţii către alte mijloace de măsurare.*

La rîndul lor, etaloanele sînt de mai multe categorii:

— *etalon primar* — etalonul care întruneşte cele mai ridicate calităţi metrologice. În unele cazuri, etaloanele pot deveni etaloane internaţionale sau etaloane naţionale. Etaloanele internaţionale sînt recunoscute prin acorduri internaţionale, iar etaloanele naţionale sînt atestate printr-o decizie oficială a unei ţări şi constituie baza metrologică a ţării respective;

— *etaloane secundare.* Transmiterea unităţii de măsură se realizează pornind de la etalonul naţional, care este şi etalon primar cu ajutorul unor instalaţii şi metode adecvate, se etalonează etaloanele secundare de ordinul I, de la care, prin mijloace tehnice similare, unitatea de măsură se transmite la etaloanele secundare de ordinul II ş.a.m.d.;

— *etalon de lucru* — etalonul a cărui valoare este atribuită prin comparaţie cu un etalon secundar şi care serveşte la verificarea mijloacelor de măsurat de lucru.

Mijloacele de măsurare de lucru *sînt cele cu care se execută măsurările cerute de practică.*

2. METODE DE MĂSURARE

Metodele de măsurare reprezintă ansamblul de procedee folosite *pentru obţinerea informaţiei de măsurare.* Ele arată cum se execută măsurările.

După modul în care se obţine rezultatul măsurării, metodele de măsurare se împart în *metode indirecte* şi *metode directe.*

A. METODE DE MĂSURARE INDIRECTE

Metodele de măsurare indirecte *sînt acele metode prin care se măsoară alte mărimi, iar valoarea mărimii de măsurat se obține prin calcul* (de exemplu, măsurarea rezistențelor prin metoda ampermetrului și voltmetrului).

B. METODE DE MĂSURARE DIRECTE

Metodele de măsurate directe *sînt acele metode în care se măsoară nemijlocit mărimea de măsurat.* Metodele directe pot fi *cu citire directă* sau *de comparație.*

- **Citirea directă** se folosește în cazul aparatelor care au scara gradată direct în unități ale mărimii de măsurat (de exemplu: ampermetre, voltmetre, ohmmetre etc.).
- **Metodele de comparație** pot fi: *metode de substituție, metode diferențiale, metode de zero* și altele.

Metoda de substituție constă în înlocuirea mărimii de măsurat A_x, existentă într-o anumită instalație de măsurare, cu o mărime cunoscută și variabilă A_0, care se modifică pînă cînd indicațiile aparatelor de măsurat vor fi aceleași ca și în cazul cînd în instalație se află mărimea A_x. În acest caz, $A_x = A_0$.

Metoda de zero se bazează pe acțiunea simultană, dar de sens contrar, a mărimii de comparație și a mărimii de măsurat asupra unui aparat detector de nul. Mărimea de comparație se variază pînă cînd detectorul de nul indică zero. În acest caz, valoarea mărimii de măsurat este dată de valoarea mărimii de comparație. Operația de măsurare are caracterul unui proces de reglaj în buclă închisă, ceea ce asigură metodei o precizie ridicată. Metoda de zero se folosește la măsurarea tensiunilor electrice cu compensatoarele și la măsurarea mărimilor electrice cu punțile echilibrate.

Metoda diferențială se caracterizează prin aceea că aparatul de măsurat măsoară diferența $A_x - A_0 = A$, unde A_x este mărimea de măsurat, iar A_0 — o mărime de aceeași natură cu A_x, dar cunoscută cu o anumită precizie. Precizia măsurării este cu atît mai mare cu cît diferența A este mai mică.

C. ERORI DE MĂSURARE

1. DEFINIȚII

Orice mărime care se măsoară are o valoare a sa adevărată X, dar oricît de îngrijit s-ar efectua măsurarea, folosind cele mai perfecționate mijloace și metode de măsurare, niciodată nu se va

cunoaște valoarea adevărată. De aceea se spune că ea este inaccesibilă măsurărilor. Rezultatul obținut prin măsurare poate să difere mai mult sau mai puțin de valoarea adevărată.

- **Eroarea absolută.** Deoarece valoarea adevărată nu poate fi cunoscută, pentru aprecierea calității unei măsurări se compară valoarea măsurată X_m cu o valoare de referință X_0, obținută prin măsurări efectuate cu metodele și mijloacele de măsurare cele mai precise. În acest caz, se poate considera eroarea absolută de măsurare ca fiind:

$$\varepsilon = X_m - X_0. \tag{1.3}$$

Eroarea absolută se exprimă în aceleași unități de măsură ca și mărimea de măsurat și poate fi pozitivă sau negativă după cum X_m este mai mare sau mai mic decît X_0. Eroarea absolută arată cu cît s-a greșit în cadrul unei măsurări față de valoarea de referință, dar nu dă direct nici o informație utilă asupra gradului de precizie al măsurării.

- **Eroarea relativă.** Pentru a aprecia precizia unei măsurări, trebuie să se compare eroarea absolută cu valoarea mărimii măsurate. În acest scop, se definește eroarea relativă, care reprezintă *raportul între eroarea de măsurat absolută și valoarea de referință*:

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{X_0} = \frac{X_m - X_0}{X_0}. \tag{1.4}$$

Eroarea relativă este un număr fără dimensiuni și se exprimă, de obicei, în procente.

Pentru a înțelege mai bine necesitatea definirii erorii relative, se dau în continuare două exemple.

Exemplul 1. La ieșirea unui redresor se măsoară tensiunea cu un voltmetru care indică 251 V în loc de 250 V. În acest caz:

$$X_0 = 250\ \text{V};\ X_m = 251\ \text{V};$$

$$\varepsilon = X_m - X_0 = 251 - 250 = 1\ \text{V};$$

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{X_0} = \frac{1}{250} = 0{,}004 = 0{,}4\%.$$

Exemplul 2. La măsurarea tensiunii la bornele unei rezistențe, voltmetrul utilizat indică 5 V în loc de 6 V. În acest caz:

$$X_0 = 6\ \text{V};\ X_m = 5\ \text{V};$$

$$\varepsilon = X_m - X_0 = 5 - 6 = -1\ \text{V};$$

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{X_0} = \frac{1}{6} = 0{,}16 = 16{,}6\%.$$

După cum se vede din cele două exemple, aceeași eroare absolută de măsurare are efecte diferite. Pentru a obține o informație asupra preciziei măsurării, este necesar să se calculeze eroarea relativă.

2. CLASIFICAREA ERORILOR

● **După cauza care le produce,** erorile se împart în *erori subiective* și *erori obiective.*

Erorile subiective sînt datorate operatorului, depinzînd de atenția, îndemînarea și starea organelor sale de percepție.

Erorile obiective sînt cele care se datorează imperfecțiunii aparatelor de măsurat, influențelor diferiților factori externi sau metodei insuficient de exacte.

● **Din punctul de vedere al caracterului lor,** erorile pot fi *sistematice, aleatoare* sau *întîmplătoare* și *grave.*

Erorile sistematice sînt acele erori care intervin cu aceleași valori ori de cîte ori se repetă măsurarea în condiții identice. Ele se pot datora imperfecțiunilor de construcție și de etalonare ale aparatelor de măsurat, influențelor controlabile ale mediului sau metodei care se folosește. Aceste erori se pot determina și se poate ține seama de ele aplicînd *corecția.* Corecția este egală cu eroarea absolută de măsurare, considerată cu semn schimbat. Ea se adaugă la rezultatul măsurării pentru a obține o valoare mai apropiată de cea adevărată.

Exemplu: Se cunoaște că un miliampermetru cu scară liniară are o eroare sistematică de 1 mA în plus (deci $\varepsilon = 1$ mA). Dacă la o măsurare se obține $X_m = 25$ mA aplicînd corecția:

$$C = -\varepsilon = -1 \text{ mA},$$

valoarea corectă va fi:

$$X_m = X_m + C = 25 - 1 = 24 \text{ mA}.$$

Erori aleatoare (întîmplătoare) sînt acele erori care intervin cu valori și semne diferite cînd măsurarea se repetă. Aceste erori se pot datora fluctuațiilor de indicație ale aparatelor (din cauza frecării, uzurii unor piese), influențelor necontrolabile ale mediului sau operatorului.

Pentru a micșora influența erorilor întîmplătoare asupra rezultatului măsurării, se recomandă să se repete de mai multe ori măsurarea mărimii respective și să se facă media aritmetică a valorilor obținute. Astfel, dacă pentru determinarea unei mărimi au fost executate *n* măsurări în urma cărora s-au găsit valorile $x_1, x_2 \ldots x_n$, valoarea cea mai probabilă a mărimii măsurate este:

$$x = \frac{x_1 + x_2 + \ldots + x_n}{n}.$$

Erori grave sau *greșeli* sînt acele erori care intervin cu valori foarte mari. Ele se pot datora folosirii aparatelor defecte, alegerii necorespunzătoare a aparatelor sau metodelor, calculelor greșite sau

neatenției operatorului. Greșelile trebuie evitate și, pentru a le putea evita, trebuie să se cunoască foarte bine aparatele de măsurare, precum și instalațiile, echipamentele sau aparatele asupra cărora se fac măsurări.

3. ERORILE APARATELOR DE MĂSURAT ELECTRICE

Așa cum s-a arătat, în efectuarea unei măsurări unele erori sînt datorate imperfecțiunii aparatelor de măsurat. În momentul măsurării, indicația *a* a aparatului de măsurat ar trebui să corespundă valorii adevărate X. În realitate, el oferă o indicație a_m corespunzătoare valorii măsurate X_m. Diferența între indicația în momentul măsurării și indicația exactă reprezintă *eroarea instrumentală:*

$$\varepsilon_i = a_m - a. \qquad (1.5)$$

Eroarea instrumentală se exprimă în aceleași unități ca și mărimea de măsurat și poate avea diferite valori.

● Valoarea maximă admisibilă a erorii instrumentale reprezintă **eroarea instrumentală tolerată.** Aceasta caracterizează fiecare aparat și este stabilită prin construcție de producătorul de aparate de măsurat.

De exemplu, un miliampermetru de 100 mA poate avea o eroare instrumentală tolerată de 1 mA.

● Eroarea instrumentală tolerată arată cu cît poate greși un aparat de măsurat, dar nu dă direct o informație utilă despre calitatea aparatului. Pentru caracterizarea preciziei unui aparat de măsurat este necesar să se compare eroarea instrumentală tolerată cu valoarea maximă pe care o indică aparatul respectiv. Se obține astfel **eroarea raportată tolerată,** care se exprimă de obicei în procente:

$$\varepsilon_{irap} = \frac{(a_m - a)_{max}}{a_{max}} 100 [\%] \qquad (1.6)$$

unde a_{max} este indicația maximă (valoarea de la capătul scării).

Eroarea raportată tolerată este o mărime specifică fiecărui aparat de măsurat și, în funcție de ea, se stabilește clasa de precizie.

4. CLASE DE PRECIZIE ALE APARATELOR

Clasa de precizie a unui aparat de măsurat electric *este un număr egal cu eroarea raportată tolerată* (maxim admisă) *exprimată în procente.* Clasa de precizie este indicată pe cadranul fiecărui aparat de măsurat.

Pentru aparatele de măsurat electrice fabricate în România, conform STAS 4640/1-71, se folosesc următoarele clase de precizie: 0,05—0,1—0,2—0,5—1—1,5—2,5—5.

Clasa de precizie caracterizează aparatul și nu măsurarea. Pentru a obține o precizie cît mai bună a măsurării, se recomandă să se

folosească aparatul de măsurat astfel încît să se obţină o indicaţie cît mai mare (în cea de-a doua jumătate a scării gradate).

Exemplu: Un miliampermetru de 50 mA cu clasa de precizie 1 are o eroare apo rtată tolerată de 1%. Eroarea instrumentală maximă va fi:

$$(a_m - a)_{max} = \varepsilon_{irap} \cdot a_{max} = 0{,}01 \cdot 50 = 0{,}5 \text{ mA}.$$

Cînd se măsoară cu acest aparat $I_1 = 50$ mA, eroarea relativă a măsurării va fi:

$$\varepsilon_{r1} = \frac{(a_m - a)_{max}}{I_1} = \frac{0{,}5}{50} = 1\%,$$

Dacă se măsoară cu acelaşi aparat $I_2 = 25$ mA, eroarea relativă a măsurării va fi:

$$\varepsilon_{r2} = \frac{0{,}5}{25} = 2\%,$$

În caz că se măsoară $I_3 = 5$ mA, eroarea relativă va fi:

$$\varepsilon_{r3} = \frac{0{,}5}{5} = 10\%.$$

Din exemplele de mai sus se vede că la acelaşi aparat eroarea relativă a măsurării este cu atît mai mică cu cît indicaţia este mai mare.

D. CARACTERISTICI METROLOGICE

Caracteristicile metrologice ale aparatelor de măsurat electrice sînt criterii de calitate ale acestora, care se au în vedere de obicei şi la verificările metrologice iniţiale sau periodice. Dintre caracteristicile metrologice ale aparatelor de măsurat electrice, cele mai importante sînt: *sensibilitatea, justeţea, fidelitatea* şi *precizia.*

• **Sensibilitatea** este caracteristica metrologică a unui aparat de măsurat care exprimă raportul între variaţia mărimii de ieşire şi variaţia mărimii de intrare (a mărimii de măsurat):

$$S = \frac{\Delta\alpha}{\Delta X}. \qquad (1.7)$$

Relaţia (1.7) arată că, cu cît variaţia mărimii de ieşire este mai mare, pentru aceeaşi variaţie a mărimii de măsurat, cu atît sensibilitatea este mai mare.

Pragul de sensibilitate este cea mai mică variaţie a mărimii de măsurat care determină o variaţie perceptibilă a mărimii de ieşire. Uneori, pragul de sensibilitate se mai numeşte şi *rezoluţie.*

• Justeţea este proprietatea unui aparat de măsurat de a da indicaţii medii cît mai apropiate de valoarea adevărată a mărimii de

măsurat. Justeţea depinde de erorile sistematice şi este cu atît mai bună cu cît erorile sistematice sînt mai mici.

• **Fidelitatea** este proprietatea unui aparat de măsurat de a da indicaţii cît mai apropiate între ele cînd măsurarea se repetă în condiţii identice. Fidelitatea este cu atît mai bună cu cît erorile întîmplătoare (fluctuaţiile de indicaţie) sînt mai mici.

• **Precizia** este o caracteristică metrologică globală a unui aparat de măsurat. Ea exprimă proprietatea aparatului de a da indicaţii cît mai apropiate de valoarea adevărată (de a avea erori cît mai mici). La un aparat de măsurat, precizia este cu atît mai mare cu cît fidelitatea şi justeţea sînt mai bune.

E. NOŢIUNI DE LEGISLAŢIE METROLOGICĂ

În condiţiile dezvoltării ştiinţei şi tehnicii şi ale extinderii cooperării atît pe plan naţional cît şi pe plan internaţional, este necesar să se asigure o funcţionare corectă şi precisă a mijloacelor de măsurare. În vederea satisfacerii acestor cerinţe, este necesar ca mijloacele de măsurare să fie supuse verificării metrologice înainte de punerea lor în funcţiune, după fiecare revizie sau reparaţie şi, periodic, în cursul utilizării lor.

În ţara noastră, conform Legii metrologiei nr. 27/1978, toate mijloacele de măsurare care se construiesc, se importă, se repară şi se folosesc sînt supuse verificărilor de stat obligatorii, care sînt efectuate de Inspectoratul General de Stat pentru Controlul Calităţii Produselor.

Pentru verificarea metrologică se efectuează diferite operaţii metrologice, adică diverse lucrări, în scopul de a constata dacă performanţele mijloacelor de măsurare corespund sau se menţin în limitele impuse de standarde, norme sau alte prescripţii în vigoare.

Operaţiile metrologice care se efectuează asupra mijloacelor de măsurare etalon se numesc *etalonări*, iar cele ce se efectuează asupra mijloacelor de măsurare de lucru se numesc *verificări.*

Etalonările şi verificările se fac obligatoriu:

— iniţial, pentru mijloacele de măsurare noi, înainte de darea lor în folosinţă;

— periodic, asupra mijloacelor de măsurare în folosinţă, la termene stabilite prin norme tehnice de metrologie;

— ocazional, în urma reparaţiilor şi ori de cîte ori este necesar pentru a asigura funcţionarea corespunzătoare a mijloacelor de măsurare.

În urma etalonării se emite certificatul de etalonare, în care sînt trecute toate datele necesare identificării etalonului respectiv şi datele obţinute pentru fiecare punct în parte.

Pentru mijloacele de măsurare de lucru, în urma verificării se eliberează un buletin de verificare în care se menţionează datele necesare identificării, precum şi rezultatul verificării: „Admis" sau „Respins".

Mijloacele de măsurare admise la etalonări sau verificări de stat se investesc cu marca de stat. Marca de stat are rolul de a sigila mijloacele de măsurare verificate, astfel încît să nu se poată interveni la mecanismele lor fără a o deteriora.

Capitolul 2

APARATE DE MĂSURAT ELECTRICE

A. NOŢIUNI GENERALE

Aparatele de măsurat electrice sînt mijloace de măsurare care permit determinarea cantitativă a mărimilor electrice sau a mărimilor neelectrice, prin intermediul unei mărimi electrice.

● **Aparatele de măsurat electrice** se realizează într-o mare varietate de tipuri constructive, dar oricît de complicate ar fi, ele **pot fi considerate ca fiind alcătuite** dintr-un *traductor, dispozitive intermediare* şi un *instrument de măsurat*, conform schemei din figura 2.1.

Traductorul este un dispozitiv care transformă, cu o anumită eroare limită, mărimea aplicată la intrarea sa într-o altă mărime obţinută la ieşire. De obicei, în aparatele de măsurat electrice traductorul transformă o mărime neelectrică într-o mărime electrică.

Exemple de traductoare: termocuplul, termorezistenţa etc.

Dispozitivele intermediare au rolul de a prelucra şi adapta mărimile de la intrarea lor pînă la obţinerea mărimii necesare la intrarea instrumentului de măsurat.

Exemple de dispozitive intermediare: amplificatoare, atenuatoare, circuite de detecţie etc.

Instrumentul de măsurat este un mijloc de măsurare care transformă semnalul de la intrarea sa într-o mărime perceptibilă cu ajutorul căreia se determină valoarea mărimii măsurate. Mărimea perceptibilă de la ieşire poate să fie urmărită direct de un operator, sub formă de *indicaţie*, poate fi *înregistrată* sau poate fi transmisă unor dispozitive de *acţionare, stocare sau prelucrare a informaţiilor de măsurare.*

○ **Trebuie menţionat că** la unele aparate unele componente pot să lipsească. Astfel, în anumite măsurări, instrumentul de măsurat poate



Fig. 2.1. Schema funcţională generală a aparatelor de măsurat electrice.

fi folosit fără traductor şi fără dispozitive intermediare. În acest caz, instrumentul de măsurat singur poate fi considerat aparat de măsurat.

● **Aparatele de măsurat electrice** se împart în două mari **categorii**:
— *aparate de măsurat numerice (digitale)*;
— *aparate de măsurat analogice.*

Aparatele de măsurat numerice (digitale) se caracterizează prin faptul că mărimea de măsurat se transformă în semnale digitale, care sînt prelucrate cu circuite specifice, iar rezultatul măsurării se afişează sub formă numerică.

B. APARATE ANALOGICE INDICATOARE

1. PRINCIPIUL DE FUNCŢIONARE

Funcţionarea aparatelor de măsurat indicatoare se bazează pe transformarea unei părţi din energia electrică sau magnetică a mărimii de măsurat sau a semnalului electric intermediar în energie mecanică, care produce mărimea perceptibilă de la ieşire, respectiv deplasarea unui indicator în faţa unei scări gradate. Transformarea energiei are loc în conformitate cu fenomenul fizic care stă la baza construcţiei şi funcţionării instrumentului de măsurat.

Instrumentele de măsurat ale aparatelor indicatoare au în construcţia lor o parte fixă şi o parte mobilă (echipaj mobil).

● Partea mobilă, pe care este fixat şi indicatorul, se deplasează sub acţiunea unui cuplu de forţe ,denumit **cuplu activ,** M_a, care apare ca urmare a interacţiunii dintre mărimile fizice (dintre care, de obicei, una este mărimea de măsurat sau semnalul electric intermediar) existente în cele două părţi ale instrumentului. Cuplul activ depinde de valoarea mărimii de măsurat X, fiecărei valori a mărimii de măsurat corespunzîndu-i o valoare bine determinată a cuplului activ, adică:

$$M_a = f(X) \qquad (2.1)$$

● Dacă asupra echipajului mobil ar acţiona numai cuplul activ, acesta s-ar deplasa pînă la limita extremă, indiferent de valoarea mărimii de măsurat. Pentru ca fiecărei valori a mărimii de măsurat să-i corespundă o anumită deplasare a echipajului mobil, cuplul activ este echilibrat cu un cuplu de sens contrar proporţional cu deplasarea α a echipajului mobil, denumit **cuplu rezistent,** M_r,

$$M_r = D\alpha, \qquad (2.2)$$

unde D este o constantă constructivă denumită *cuplu specific.*

● **Caracteristica statică de funcţionare.** Echipajul mobil se roteşte sub acţiunea simultană a celor două cupluri, pînă cînd cuplul rezistent, crescînd cu unghiul de rotire, devine egal cu cuplul activ. ***Poziţia de echilibru se caraterizează deci prin aceea că suma cuplurilor care acţionează asupra echipajului mobil este zero.*** Dacă se neglijează cuplul de frecări, această condiţie se scrie:

$$M_a - M_r = 0 \qquad (2.3)$$

Înlocuindu-se în această relaţie cele două cupluri cu expresiile lor (relaţiile 2.1 şi 2.2) se obţine:

$$f(X) - D\alpha = 0,$$

de unde:

$$\alpha = \frac{1}{D} f(X) = F(X),$$

deci

$$\alpha = F(X), \qquad (2.4)$$

unde $F(X)$ este o funcţie caracteristică diecărui tip de aparat de măsurat.

Relaţia (2.4) exprimă dependenţa dintre deviaţia α a echipajului mobil şi mărimea de măsurat şi reprezintă caracteristica statică de funcţionare a aparatelor de măsurat indicatoare.

2. CLASIFICAREA APARATELOR DE MĂSURAT INDICATOARE

Aparatele de măsurat se construiesc într-o mare varietate şi de aceea este necesară o clasificare a lor. Clasificarea se poate face după mai multe criterii.

● **După mărimea măsurată,** aparatele pot fi: *ampermetre, ohmmetre, voltmetre* etc.

● **După precizie,** aparatele de măsurat pot fi incluse în una dintre următoarele clase: 0,05—0,1—0,2—0,5—1—1,5—2,5—5.

● **După utilizare,** pot fi:
— *aparate de tablou* (clasele 0,5. . .5);
— *aparate de laborator* (clasele 0,005. . .0,5);
— *aparate tehnice* (clasele 1. . .5).

● **După natura fenomenelor pe care se bazează funcţionarea lor,** se deosebesc:

— *aparate magnetoelectrice,* care folosesc interacţiunea dintre cîmpul unui magnet permanent şi o bobină parcursă de curentul de măsurat; în funcţie de elementul care este mobil, aceste aparate se împart în aparate *cu bobină mobilă* şi aparate *cu magnet mobil*;

— *aparate feromagnetice* (cu fier mobil), care conţin o piesă mobilă din material feromagnetic supusă acţiunii cîmpului creat de o bobină fixă parcursă de curentul de măsurat;

— *aparate electrodinamice,* care folosesc acţiunile forţelor electrodinamice ce se exercită între bobinele fixe şi mobile parcurse de curenţi;

— *aparate ferodinamice,* în care forțele electrodinamice sînt sporite de piese feromagnetice așezate în calea liniilor de cîmp magnetic;

— *aparate de inducție,* care folosesc acțiunea cîmpului magnetic variabil al unor circuite inductoare fixe asupra unor piese conductoare mobile în care induc curenți;

— *aparate termice cu fir cald,* în care echipajul mobil se deplasează ca urmare a dilatării firelor încălzite direct sau indirect de curentul de măsurat;

— *aparate bimetalice,* în care deformarea unei lamele din bimetal datorită încălzirii sale directe sau indirecte de către curentul de măsurat este transmisă echipajului mobil;

— *aparate cu termocuplu,* în care mărimea electrică de măsurat produce încălzirea unui termocuplu a cărui tensiune electromotoare este măsurată cu ajutorul unui aparat magnetoelectric;

— *aparate cu redresor,* formate dintr-un aparat magnetoelectric asociat cu un dispozitiv redresor, cu care se măsoară curenți sau tensiuni alternative;

— *aparate electrostatice,* care funcționează sub influența forțelor electrostatice ce se exercită între piese metalice fixe și mobile între care există o diferență de potențial electric;

— *aparate cu lame vibrante,* în care lamele metalice, fiecare dintre ele avînd o frecvență proprie de rezonanță, vibrează sub acțiunea cîmpului creat de un curent alternativ care parcurge bobine fixe;

— *logometre,* aparate cu două circuite de măsurare, destinate să măsoare raportul a două mărimi electrice; ele pot fi: magnetoelectrice, ferodinamice, electrodinamice, feromagnetice și de inducție;

— *aparate electronice,* care au în construcția lor componente electronice.

3. MARCAREA APARATELOR DE MĂSURAT ELECTRICE

În conformitate cu STAS 4640/4-74, pe cadranul fiecărui aparat de măsurat se înscriu următoarele date:
- numele sau marca producătorului;
- unitatea de măsură, indicată prin simbolul său;
- numărul seriei și anul fabricației;
- clasa de precizie;
- natura curentului (continuu sau alternativ);
- tensiunea de încercare a rigidității dielectrice;
- simbolul care indică fenomenele ce stau la baza funcționării aparatului (principiul de funcționare);
- tipul aparatului;
- simbolul poziției normale de funcționare.

Simbolurile utilizate pentru aceste inscripții sînt arătate în tabelul 2.

Simbolurile aparatelor de măsurat electrice *Tabelul 2.1*

I. PRINCIPIUL DE FUNCȚIONARE

Felul aparatului	*Simbolul*
Magnetoelectric (cu cadru mobil)	
Magnetoelectric (cu magnet mobil)	
Logometru magnetoelectric	
Feromagnetic	
Logometru feromagnetic	
Electrodinamic	
Logometru electrodinamic	
Ferodinamic	
Logometru ferodinamic	
De inducție	
Electrostatic	
Termic cu fir cald	
Bimetalic	
Magnetoelectric cu termocuplu	
Magnetoelectric cu redresor	
Cu lame vibrante	

II. NATURA CURENTULUI

Felul curentului	*Simbolul*
Curent continuu	—
Curent alternativ	~
Curent continuu și alternativ monofazat	≃

III. CLASA DE PRECIZIE

Erorile (exprimate în procente) raportate la:	*Simbol*
Valoarea maximă a domeniului de măsurare	0,5
Lungimea scării gradate	0,5
Valoarea exactă	0,5

IV. POZIȚIA NORMALĂ DE FUNCȚIONARE

Poziția cadranului	*Simbol*
Verticală	⊥
Orizontală	
Înclinată față de orizontală (ex. 60°)	∠60°

V. TENSIUNEA DE ÎNCERCARE DIELECTRICĂ

Valoarea tensiunii	*Simbol*
500 V	☆
Peste 500 V (de ex. 2 kV)	
Fără încercare dielectrică	

4. PĂRŢILE COMPONENTE ALE APARATELOR DE MĂSURAT

Deşi sînt de o mare diversitate din punctul de vedere al construcţiei şi principiului de funcţionare, aparatele de măsurat electrice sînt alcătuite dintr-o serie de elemente componente comune în ceea ce priveşte funcţia îndeplinită în aparat. Dintre acestea fac parte:

— *dispozitivul pentru producerea cuplului activ;*
— *dipozitivul pentru producerea cuplului rezistent;*
— *dispozitivul de citire;*
— *corectorul de zero;*
— *amortizorul.*

○ **Trebuie precizat că** s-a avut în vedere cazul cel mai simplu **şi** anume acela cînd aparatul de măsurat se reduce la **instrumentul de** măsurat.

a. Dispozitivul pentru producerea cuplului activ

Conform principiului de funcţionare a aparatelor de măsurat indicatoare, acestea trebuie să conţină un dispozitiv pentru producerea cuplului activ. De obicei, el este format dintr-o *parte fixă* şi o *parte mobilă* (echipaj mobil), care interacţionînd, dau naştere cuplului activ. În funcţie de fenomenele fizice care stau la baza principiului de funcţionare al diferitelor aparate, elementele care alcătuiesc dispozitivul pentru producerea cuplului activ sînt realizate în diferite forme constructive.

● **Partea fixă** poate fi alcătuită din magneţi permanenţi (la aparatele magnetoelectrice), din bobine (la aparatele feromagnetice, electrodinamice şi ferodinamice), din electromagneţi (la aparatele de inducţie) etc.

● **Echipajul mobil** poate fi construit din bobine mobile (la aparatele magnetoelectrice, electrodinamice şi ferodinamice), din plăci metalice (la aparatele feromagnetice şi electrostatice), din discuri nemagnetice (la aparatele de inducţie) etc.

Echipajul mobil este fixat pe un ax care se sprijină în lagăre sau este suspendat pe benzi de torsiune sau pe fire de torsiune.

b. Dispozitivul pentru producerea cuplului rezistent

Cuplul rezistent, care se opune cuplului activ, este creat în majoritatea aparatelor de măsurat de *arcuri spirale* sau de *firele sau benzile de care este suspendat echipajul mobil.* Pentru realizarea acestor elemente se folosesc benzi sau fire din diferite materiale elastice şi

nemagnetice (de obicei bronz fosforos sau bronz cu cadmiu). **Cuplul** rezistent specific depinde de dimensiunile firelor sau benzilor **şi de** calităţile elastice ale materialelor folosite.

c. Dispozitivul de citire

În timpul măsurării, echipajul mobil se deplasează **sub acţiunea** celor două cupluri. Cînd suma acestora este nulă, echipajul mobil rămîne într-o poziţie de echilibru. Echilibrul cuplurilor este indicat prin poziţia unui indicator, solidar legat cu echipajul mobil, în faţa unei scări gradate. Deci dispozitivul de citire este compus din *indicator* şi din *scara gradată.*

● La cele mai multe aparate de măsurat electrice analogice, **indicatorul** este un *ac* rigid fixat pe axul sistemului mobil şi echilibrat de *două contragreutăţi* plasate în partea opusă, astfel încît centrul de greutate al sistemului să rezulte în axa de rotaţie. Acele indicatoare se execută din duraluminiu sau din sticlă şi au diferite forme. *La aparatele de tablou,* vîrful acului are formă de săgeată sau de bacă, iar *la aparatele de precizie,* formă de lamă de cuţit sau de fir, aşa cum sînt prezentate în figura 2.2.

La aparatele de mare sensibilitate indicatorul este un spot luminos: o rază de lumină produsă de o sursă se reflectă pe o oglindă fixată pe axul echipajului mobil şi formează o pată luminoasă (spot) pe

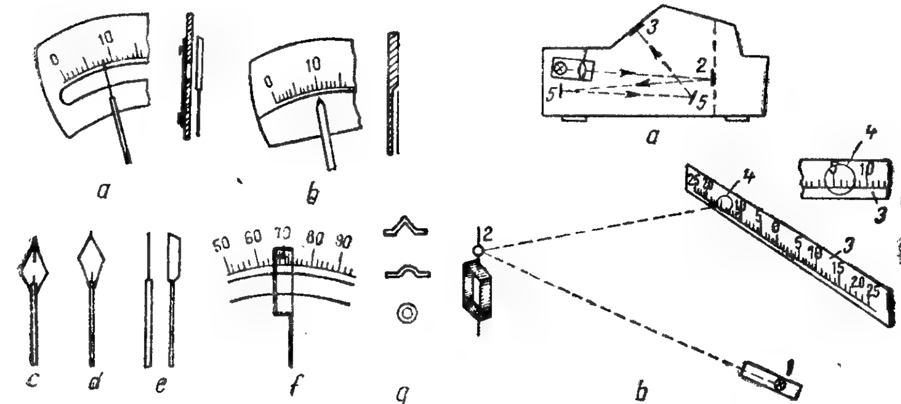


Fig. 2.2. Ace indicatoare.

Fig. 2.3. Indicator cu spot luminos:
a — în interiorul aparatului; *b* — indicator exterior; *1* — sursă de lumină; *2* — oglindă; *3* — scară gradată; *4* — spot; *5* — oglinzi reflectoare.

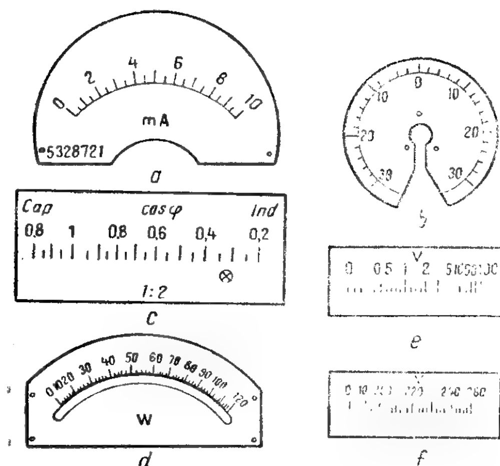


Fig. 2.4. Scări gradate.

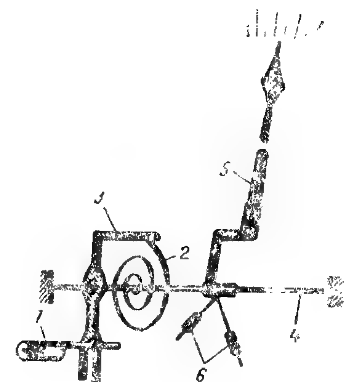


Fig. 2.5. Corectorul de zero: 1 — buton crestat; 2 — arc spiral; 3 — pîrghie; 4 — axul sistemului mobil; 5 — ac indicator; 6 — contragreutăți.

scara gradată a aparatului. Scara gradată și sursa de lumină pot fi în interiorul aparatului (fig. 2.3, *a*) sau în exterior (fig. 2.3, *b*).

● **Scara gradată** este o succesiune de repere trasate pe cadranul aparatului corespunzător unui șir de valori ale mărimii de măsurat. În figura 2.4 sînt reprezentate diferite tipuri de scări gradate.

d. Corectorul de zero

Dacă la intrarea în aparat nu se aplică nici un semnal, echipajul mobil este adus la zero de arcurile spirale sau de benzile de suspensie. Deoarece, din diferite cauze, poziția indicatorului se poate abate de la reperul zero, aparatele de măsurat electrice sînt prevăzute cu un dispozitiv care permite aducerea indicatorului la poziția corectă. Corectorul de zero, reprezentat în figura 2.5, conține un buton crestat *1* accesibil din exteriorul aparatului, care se prelungește cu o tijă așezată excentric față de axa de rotație. Această tijă acționează pîrghia *3* de care este fixat un capăt al unui arc spiral *2*. Celălalt capăt al arcului fiind fixat pe axul sistemului mobil, cînd se rotește butonul crestat de pe carcasa aparatului, pîrghia *3* acționează asupra arcului spiral *2* și produce deplasarea întregului sistem mobil. Astfel, indicatorul poate fi adus în dreptul reperului zero al scării gradate.

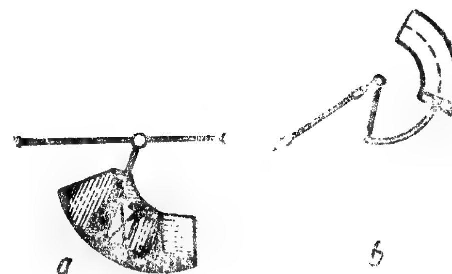
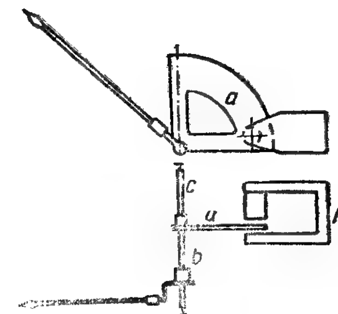


Fig. 2.6. Amortizoare pneumatice: *a* — cu piston; *b* — cu paletă.



Fif. 2.7. Amortizor electromagnetic.

e. Amortizorul

Amortizorul servește la amortizarea oscilațiilor indicatorului în jurul poziției de echilibru. Fără acest dispozitiv, citirea indicațiilor ar fi mult îngreuiată. Amortizoarele sînt, în general, de două feluri:

— *amortizoare pneumatice;*

— *amortizoare electromagnetice.*

● **Amortizoarele pneumatice** conțin o paletă (fig. 2.6, *b*) sau un piston (fig. 2.7, *a*), solidar legate cu axul echipajului mobil și care se deplasează în interiorul unor camere închise. Cînd echipajul mobil tinde să oscileze, paleta sau pistonul comprimă aerul din camera închisă și acesta se opune oscilațiilor.

● **Amortizoarele electromagnetice,** repezentate în figura 2.7, constau dintr-o piesă metalică nemagnetică *a* fixată pe axul echipajului mobil și introdusă în cîmpul magnetic al unui magnet permanent *M*. Cînd echipajul mobil tinde să oscileze, în piesa metalică apar curenți induși, al căror efect este de a se opune cauzei ce i-a produs, amortizînd în acest mod mișcarea.

VERIFICAREA CUNOȘTINȚELOR

1. Ce se înțelege prin aparat de măsurat?
2. În afară de aparatele de măsurat indicatoare, ce alte tipuri de aparate de măsurat mai există?
3. La aparatele indicatoare ,cum se obține energia necesară deplasării indicatorului?
4. Ce se întîmplă la un aparat dacă dispozitivul pentru producerea cuplului rezistent nu mai funcționează?
5. Ce se întîmplă la un aparat de măsurat dacă amortizorul nu mai funcționează?
6. Cum se poate regla, din exteriorul aparatului, poziția indicatorului?

Capitolul 3

MĂSURĂRI ÎN CURENT CONTINUU

A. APARATE MAGNETOELECTRICE (CU BOBINĂ MOBILĂ)

1. PRINCIPIUL DE FUNCȚIONARE

Funcționarea aparatelor magnetoelectrice se bazează pe interacțiunea dintre cîmpul magnetic al unui magnet permanent și o bobină mobilă parcursă de curentul de măsurat (curent continuu). În urma acestei interacțiuni apare un cuplu activ care pune în mișcare bobina mobilă împreună cu întregul echipaj mobil.

2. DESCRIEREA APARATULUI

Din principiul de funcționare, se observă că elementele de bază ale aparatelor magnetoelectrice sînt: magnetul permanent și bobina mobilă. Ele fac parte din *dispozitivul pentru producerea cuplului activ. Partea fixă* a acestui dispozitiv este alcătuită, așa cum se vede și în figura 3.1, din magnetul permanent, piesele polare și miezul cilindric. Piesele polare și miezul sînt executate din fier moale și au suprafețele cilindrice, centrate pe axul aparatului astfel ca în întrefierul foarte îngust care se formează, cîmpul magnetic creat de magnetul permanent să aibă un spectru radial și uniform. Această distribuție a cîmpului în întrefier asigură obținerea unei scări liniare pentru aparatele magnetoelectrice. *Partea mobilă* este realizată dintr-o bobină, așezată în întrefierul circuitului magnetic și montată pe două semiaxe ale căror capete se reazemă în lagăre.

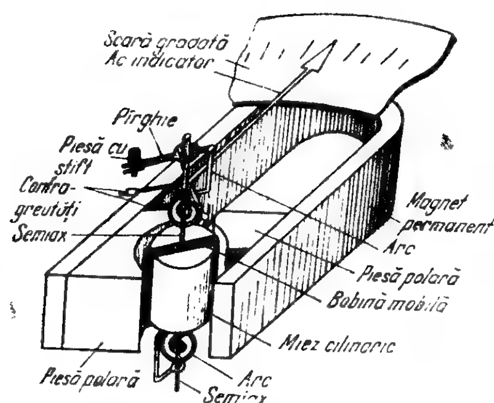


Fig. 3.1. Aparat magnetoelectric.

De semiaxe sînt prinse două arcuri spirale care creează *cuplul rezistent* și, în același timp servesc la aducerea curentului la bobina mobilă. Capătul fix al unuia dintre arcuri este prins la șasiul aparatului, iar al celuilalt — la pîrghia *corectorului de zero.*

Pe una dintre semiaxe este fixat acul indicator care, împreună cu scara gradată, formează *dispozitivul de citire.*

Acul indicator este echilibrat de contragreutăți. *Amortizorul este* electromagnetic și este format din carcasa bobinei, care se realizează din aluminiu, sau din cîteva spire în scurtcircuit prevăzute în acest scop pe bobină. La mișcarea bobinei în cîmpul magnetic al magnetului permanent, în carcasa din aluminiu sau în spirele în scurtcircuit se induc curenți, a căror acțiune tinde să se opună mișcării amortizînd în acest fel oscilațiile echipajului mobil.

În construcțiile moderne ale aparatelor magnetoelectrice, magnetul permanent nu mai este sub formă de potcoavă alungită. Folosindu-se materiale magnetice cu calități superioare, dimensiunile acestui magnet s-au micșorat foarte mult, realizîndu-se astfel importante economii de materiale.

3. FUNCȚIONAREA

La trecerea unui curent continuu I prin bobină, ca urmare a interacțiunii curentului cu cîmpul magnetic al magnetului permanent, asupra părților active ale spirelor bobinei acționează forțele F care dau naștere cuplului activ M_a ce rotește bobina (fig. 3.2). După cum se știe din fizică, forța F ce se exercită asupra unui conductor de lungime l, parcurs de un curent de intensitate I și aflat într-un cîmp de inducție magnetică B este:

$$F = IBl.$$

Avînd în vedere că distanța între punctele de aplicație ale celor două forțe este b (lățimea unei spire) și că lungimea conductorului supus unei forțe F este egală cu înălțimea unei spire, l, înmulțită cu numărul de spire N ale bobinei, se poate deduce:

$$M_a = Fb = IBNlb = \\ = BNAI \qquad (3.1)$$

unde $A = lb$ este aria unei spire.

Bobina mobilă se rotește pînă cînd cuplul rezistent produs de arcurile spirale ($M_r = D\alpha$), crescînd cu unghiul de rotire, egalează

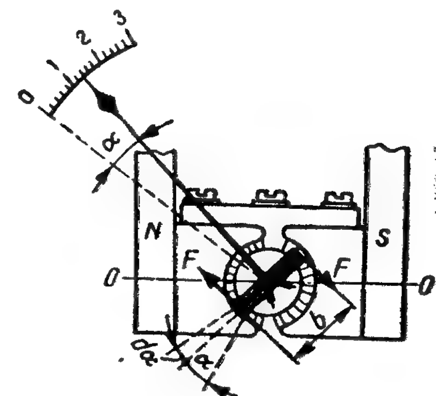


Fig. 3.2. Schema aparatului megnetoelectric.

cuplul activ ($M_r = M_a$). Înlocuind în această egalitate expresiile celor două cupluri, se obține:

$$BNAI = D\alpha,$$

de unde:

$$\alpha = \frac{BNA}{D} I. \qquad (3.2)$$

Avînd în vedere că, prin construcția specială a circuitului magnetic, se obține în întrefier o inducție constantă, se poate nota:

$$\frac{BAN}{D} = S$$

și rezultă

$$\boxed{\alpha = S \cdot I} \qquad (3.3)$$

Relația (3.3) reprezintă *caracteristica statică de funcționare a aparatelor magnetoelectrice.*

4. PROPRIETĂȚI

După cum reiese din expresia matematică a caracteristicii statice de funcționare, la aparatele magnetoelectrice indicația este proporțională cu intensitatea curentului ce se măsoară și deci aparatele magnetoelectrice *au scară uniformă.*

Sensibilitatea acestor aparate *este foarte mare,* realizîndu-se aparate care măsoară intensități ale curentului începînd de la microamperi și, în unele construcții speciale (galvanometre), chiar de ordinul nanoamperilor.

Precizia este foarte bună, putîndu-se ajunge la clase de precizie de 0,05—0,1.

Consumul propriu de putere este foarte mic, de obicei sub 1 mW.

Sînt puțin influențate de cîmpurile magnetice exterioare, întrucît cîmpul propriu, fiind concentrat în circuitul magnetic, este mult mai intens decît cîmpurile perturbatoare.

O proprietate deosebită a aparatelor magnetoelectrice este faptul că *funcționează numai în curentul continuu.* În curent alternativ, cuplul activ, care este proporțional cu curentul, devine și el alternativ, iar echipajul mobil, neputînd urmări variațiile acestuia, rămîne pe loc sau vibrează puțin în jurul poziției de zero. Datorită faptului că

aparatul nu indică valoarea intensității curentului ce trece prin bobina mobilă, există pericolul ca, la depășirea curentului nominal, aparatul să se deterioreze.

Aparatele magnetoelectrice *sînt sensibile la suprasarcini.*

5. UTILIZĂRI

Aparatele magnetoelectrice se folosesc ca ampermetre și voltmetre de curent continuu. Fiind cele mai bune aparate de măsurat electrice, ele se folosesc, de asemenea, ca instrumente indicatoare în foarte multe tipuri de aparate.

În țara noastră se construiesc diferite tipuri de aparate magnetoelectrice la „Întreprinderea de Aparate Electrice de Măsurat" din Timișoara.

6. PREVENIREA DEFECȚIUNILOR ȘI REMEDIERI

● **La începutul unor măsurări** este necesar să se verifice dacă aparatul de măsurat indică zero cînd nu este parcurs de curent electric. Dacă aparatul nu indică zero, se va regla din corectorul de zero.

● Este necesar ca **pentru fiecare măsurare** să fie ales un aparat corespunzător în așa fel încît prin acesta să nu treacă curenți cu intensități mai mari decît intensitatea maximă pentru care a fost construit aparatul (intensitatea curentului nominal):

În cazul în care se depășește intensitatea curentului nominal, este posibil să apară următoarele *defecțiuni*:

— îndoirea sau ruperea indicatorului;
— întreruperea unui arc spiral;
— întreruperea bobinei mobile.

○ **Menționăm că** reparațiile aparatelor de măsurat se fac de obicei în laboratoare specializate și că în urma reparației aparatul trebuie supus verificărilor metrologice.

B. MĂSURAREA INTENSITĂȚII CURENTULUI. AMPERMETRE

Intensitatea curentului electric este definită drept cantitatea de electricitate ce trece în unitatea de timp printr-o secțiune a unui circuit. Unitatea de măsură, amperul, este o unitate fundamentală a sistemului SI. În general, intensitatea curentului electric se măsoară prin *metode cu citire directă,* cu aparate indicatoare ce se numesc *ampermetre.*

Ampermetrele sînt aparate de măsurat a căror indicaţie depinde de intensitatea curentului electric ce trece prin ele:

$$\alpha = f(I). \qquad (3.4)$$

Din caracteristica statică de funcţionare a aparatelor magnetoelectrice,

$$\alpha = S \cdot I,$$

se observă că aceste aparate pot fi folosite ca ampermetre. Ampermetrele magnetoelectrice vor fi numai de curent continuu, deoarece aparatele magnetoelectrice funcţionează numai în curent continuu.

1. MONTAREA AMPERMETRELOR ÎN CIRCUIT

Deoarece la ampermetre indicaţia depinde de intensitatea curentului ce le străbate, pentru a măsura intensitatea curetului într-un circuit *este necesar ca ampermetrul să fie montat în serie în circuitul respectiv*, pentru ca astfel curentul de măsurat să treacă prin aparat.

Orice circuit în care se măsoară intensitatea curentului poate fi redus la o schemă echivalentă care conţine o sursă de tensiune E şi o rezistenţă R (fig. 3.3, *a*). În acest caz, intensitatea curentului va fi:

$$I = \frac{E}{R}.$$

După montarea ampermetrului, în circuit intervine în serie şi rezistenţa sa proprie r_a (fig. 3.3, *b*), iar intensitatea curentului va deveni:

$$I_1 = \frac{E}{R + r_a}.$$

Ca urmare, măsurarea va fi afectată de o eroare sistematică de metodă.

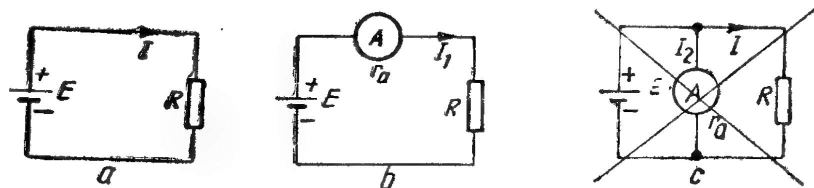


Fig. 3.3. Montarea ampermetrului în circuitul de măsurare:
a — circuitul fără ampermetru; *b* — circuitul cu ampermetru montat corect; *c* — circuit cu ampermetru montat greşit.

Pentru ca la montarea ampermetrului într-un circuit funcţionarea circuitului să se modifice cît mai puţin ($I_1 \cong I$), este necesar ca *rezistenţa proprie a ampermetrului să fie mult mai mică decît rezistenţa circuitului*, adică

$$r_a \ll R.$$

Exemplu. Într-un circuit alimentat la o sursă de tensiune $E = 3$ V şi care conţine o rezistenţă $R = 6\ \Omega$ se montează un ampermetru care are $r_a = 1\ \Omega$.

Înainte de montarea ampermetrului:

$$I = \frac{E}{R} = \frac{3}{6} = 0{,}5 \text{ A}.$$

După montarea ampermetrului:

$$I_1 = \frac{E}{R + r_a} = \frac{3}{6 + 1} = 0{,}43 \text{ A}.$$

Prin montarea ampermetrului se introduce deci o eroare de măsurare

$$\varepsilon = I_1 - I = 0{,}43 - 0{,}5 = -0{,}07 \text{ A}.$$

Eroarea relativă, care arată calitatea măsurării, va fi:

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{I} = \frac{0{,}07}{0{,}5} = 0{,}14 = 14\%.$$

Dacă rezistenţa ampermetrului ar fi $r_a = 0{,}1\ \Omega$, atunci:

$$I_1 = \frac{E}{R + r_a} = \frac{3}{6 + 0{,}1} = 0{,}492 \text{ A}.$$

Eroarea de măsurare, în acest caz, ar fi mai mică ($\varepsilon = 0{,}008$ A), iar eroarea relativă ar fi numai 1,6%.

○ **Concluzie.** Cu cît rezistenţa ampermetrului este mai mică faţă de rezistenţa circuitului, cu atît erorile datorate acestei rezistenţe sînt mai mici, deci calitatea măsurării este mai bună.

○ **Important!** *La montarea greşită a ampermetrului, în paralel pe circuit* (fig. 3.3,*c*), datorită rezistenţei foarte mici a acestuia, prin aparat va trece un curent cu o intensitate foarte mare:

$$I_2 = \frac{E}{r_a}.$$

Deoarece $r_a \ll R$, rezultă $I_2 \gg I$, ceea ce duce la deteriorarea ampermetrului.

Dacă se păstrează datele din exemplul precedent şi se calculează I_2 se obţine:

$$I_2 = \frac{E}{r_a} = \frac{3}{0{,}1} = 30 \text{ A},$$

În acest caz, prin aparatul destinat să măsoare 0,5 A va trece un curent de 30 A şi bobinajul ampermetrului se va arde.

Deoarece montarea în paralel a ampermetrului duce la defectarea lui, aceasta se consideră o greşeală foarte gravă în tehnica măsurărilor.

2. EXTINDEREA DOMENIULUI DE MĂSURARE LA AMPERMETRE

Orice aparat magnetoelectric este construit pentru un anumit domeniu de măsurare, caracterizat prin valoarea intensității curentului nominal I_a (valoarea de la capătul scării), și are o rezistență proprie r_a. Dacă este necesar să se măsoare un curent cu o intensitate $I > I_a$, se poate extinde domeniul de măsurare cu ajutorul unor dispozitive auxiliare numite *șunturi*.

Șuntul *este o rezistență electrică, de obicei de valoare mică, care se montează în paralel pe aparatul de măsurat și prin care trece o parte din curentul de măsurat.*

• **Pentru dimensionarea șunturilor** se consideră circuitul din figura 3.4. Notînd cu I intensitatea curentului de măsurat, cu $I_ș$ și $r_ș$ intensitatea curentului ce trece prin șunt și, respectiv, rezistența șuntului, I_a și r_a intensitatea curentului ce trece prin aparat și, respectiv rezistența aparatului, tensiunea între punctele a, b, va fi:

$$U_{ab} = I_a \cdot r_a = I_ș \cdot r_ș = I \cdot \frac{r_a \cdot r_ș}{r_a + r_ș}. \tag{3.6}$$

Aplicînd prima lege a lui Kirchhoff în punctul a, se poate scrie:

$$I = I_a + I_ș. \tag{3.7}$$

Din relațiile (3.6) și (3.7) se poate deduce:

$$r_ș = \frac{I_a \cdot r_a}{I_ș};$$

$$I_ș = I - I_a. \tag{3.8}$$

Relațiile (3.8) permit dimensionarea șuntului atunci cînd se cunosc caracteristicile aparatului magnetoelectric (I_a și r_a) și intensitatea I a curentului de măsurat.

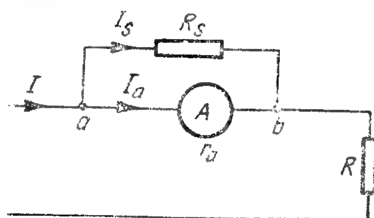


Fig. 3.4. Ampermetru cu șunt.

Din relația (3.6) se mai pot deduce și alte formule pentru dimensionarea șunturilor. Astfel, se poate scrie:

$$\frac{I}{I_a} = \frac{r_ș + r_a}{r_ș} = 1 + \frac{r_a}{r_ș} = n,$$

în care n indică de cîte ori este mai mare curentul de măsurat decît curentul nominal și se numește *coeficient de multiplicare* sau *factor de șuntare*.

Din relația:

$$n = 1 + \frac{r_a}{r_ș}$$

se obține

$$r_ș = \frac{r_a}{n - 1} \tag{3.9}$$

Relația (3.9) arată că, pentru a extinde de n ori limita de măsurare a unui ampermetru, este necesar un șunt cu rezistența $n - 1$ ori mai mică decît rezistența aparatului.

Exemplu. Să se determine rezistența unui șunt pentru un aparat magnetoelectric care are $I = 1$ mA și $r_a = 75\ \Omega$, pentru a putea măsura un curent cu intensitatea $I = 10$ mA.

$$n = \frac{I}{I_a} = \frac{10}{1} = 10;$$

$$r_ș = \frac{r_a}{n-1} = \frac{75}{10-1} = 8{,}33\ \Omega.$$

• **Tipuri de șunturi.** Șunturile pot fi *interioare* (montate în aceeași cutie cu aparatul magnetoelectric) sau *exterioare*.

Șunturile exterioare pot fi *individuale*, adică pot fi folosite numai împreună cu aparatul cu care au fost etalonate (au marcată pe ele seria aparatului cu care trebuie să fie utilizate) sau *calibrate* (interschimbabile), care pot fi utilizate la orice aparat cu o anumită limită de măsurare. Pe aceste șunturi se marchează curentul nominal și căderea de tensiune nominală.

3. AMPERMETRE CU MAI MULTE DOMENII DE MĂSURARE

În multe aplicații practice este necesar să se măsoare atît intensități mici ale curentului, cît și intensități mari. În acest caz se folosesc aparate cu șunturi pentru mai multe domenii de măsurare, care se schimbă cu ajutorul unui comutator.

Aparatele cu mai multe domenii de măsurare se pot realiza *cu mai multe șunturi*, cîte unul pentru fiecare domeniu de măsurare, sau *cu șunt universal*.

• **Șuntul universal.** Șuntul universal, reprezentat în figura 3.5, este un ansamblu de rezistențe conectate între ele în serie și care se

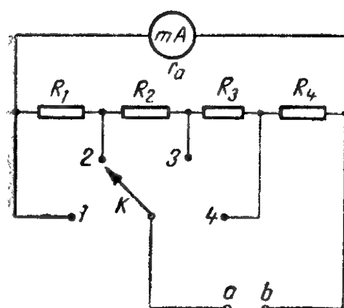


Fig. 3.5. Ampermetru cu şunt universal.

distribuie fie în serie, fie în paralel cu aparatul de măsurat, în funcţie de un comutator care schimbă domeniile de măsurare.

Astfel, pe poziţia *1* a comutatorului, întregul şunt cu rezistenţa totală $R_t = R_1 + R_2 + R_3 + R_4$ este în paralel cu aparatul; pe poziţia *2* rezistenţa R_1 este în serie cu aparatul, rămînînd în paralel $R_2 + R_3 + R_4$; pe poziţia *3*, R_1 şi R_2 sînt în serie cu aparatul, iar în paralel rămîn numai R_3 şi R_4, iar pe poziţia *4* rămîne în paralel numai R_4.

Rezistenţele R_1, R_2 ..., R_a se pot dimensiona uşor. Pornind de la formula generală a şunturilor, $r_ş = \frac{r}{n-1}$, notînd pe fiecare poziţie de ordin k coeficientul de multiplicare cu n_k şi rezistenţele care rămîn în paralel cu instrumentul indicator cu $R_{şk}$ şi observînd că o parte dintre rezistenţele $(R_t - R_{şk})$ sînt în serie cu instrumentul indicator, deci trebuie însumate cu r_a, se poate scrie:

$$R_{şk} = \frac{r_a + (R_t - R_{şk})}{n_k - 1};$$

$$R_{şk}(n_k - 1) = r_a + R_t - R_{şk},$$

de unde se deduce:

$$\boxed{R_{şk} = \frac{r_a + R_t}{n_k}} \tag{3.10}$$

Aplicînd această relaţie pentru diferite poziţii ale comutatorului, se pot calcula valorile rezistenţelor ce formează şuntul:

$$R_1 = R_t - \frac{r_a + R_t}{n_2};$$

$$R_2 = R_t - R_1 - \frac{r_a + R_t}{n_3}.$$

Rezistenţa de ordin k va fi:

$$R_k = R_t - R_1 - R_2 - \ldots - R_{k-1} - \frac{r_a + R_t}{n_{k+1}}. \tag{3.11}$$

Valoarea rezistenţei R_t se poate determina aplicînd relaţia (3.10) pentru poziţia *1* a comutatorului:

$$R_{ş1} = R_t = \frac{r_a + R_t}{n_1},$$

de unde se deduce:

$$R_t = \frac{r_a}{n_1 - 1}.$$

În cazul particular $n_1 = 1$ se observă că $R_t = \infty$. În practică, se alege pentru R_t o valoare mult mai mare decît r_a, de exemplu $R_t = 50\ r_a$.

Din relaţiile (3.11) se observă că, dacă rezistenţa totală a şuntului este mult mai mare decît rezistenţa aparatului, aceasta din urmă se poate neglija. În acest caz, relaţiile nu mai depind de aparat şi şuntul o dată calculat poate fi folosit la diferite aparate. Din acest motiv, acest tip de şunt se numeşte şunt universal.

C. MĂSURAREA TENSIUNILOR. VOLTMETRE

Tensiunea electrică este definită ca diferenţa de potenţial electric dintre două puncte. Unitatea de măsură pentru tensiuni în sistemul SI este voltul, avînd ca simbol V.

În general, tensiunile electrice se măsoară prin *metode de citire directă*, cu aparate gradate în volţi, numite *voltmetre*. În măsurările de mare precizie se utilizează *metode de compensaţie*.

În capitolul 2 s-a arătat că aparatele magnetoelectrice au caracteristica statică de funcţionare dependentă de intensitatea curentului ce trece prin ele, $\alpha = K \cdot I$ şi că fiecare aparat se caracterizează printr-un curent nominal I_a şi o rezistenţă proprie r_a.

La trecerea curentului electric printr-un aparat conform legii lui Ohm, la bornele acestuia apare o cădere de tensiune:

$$U = I \cdot r_a. \tag{3.12}$$

Din relaţia (3.12) se deduce:

$$I = \frac{U}{r_a}. \tag{3.13}$$

Dacă în caracteristica statică de funcţionare se exprimă I prin $\frac{U}{r_a}$, se obţine:

$$\alpha = f\left(\frac{U}{r_a}\right) = f_1(U). \tag{3.14}$$

Din această relaţie se observă că indicaţia α este funcţie şi de tensiunea de la bornele aparatului, deci acesta poate funcţiona şi ca voltmetru.

Dacă prin aparat trece un curent egal cu curentul său nominal, atunci indicaţia sa va fi maximă şi tensiunea de la bornele sale va reprezenta *tensiunea nominală a aparatului*:

$$U_a = I_a \cdot r_r. \tag{3.15}$$

Deci, orice aparat de măsurat se caracterizează, pe lîngă curentul său nominal I_a şi rezistenţa sa proprie r_a, şi prin tensiunea sa nominală U_a.

1. MONTAREA VOLTMETRELOR ÎN CIRCUIT

Pentru ca un voltmetru să măsoare tensiunea electrică între două puncte ale unui circuit, el *trebuie montat în paralel pe circuit între cele două puncte*, astfel încît tensiunea de măsurat să fie egală cu tensiunea de la bornele sale.

Ca şi în cazul ampermetrelor, la montarea voltmetrului în circuit este necesar ca funcţionarea circuitului să se modifice cît mai puţin. În circuitul din figura 3.6, *a*, înainte de montarea voltmetrului, tensiunea între punctele *a*, *b* este:

$$U = \frac{RE}{R + r_i} = \frac{1}{1 + \frac{r_i}{R}} E.$$

După montarea voltmetrului (fig. 3.6, *b*), tensiunea între punctele *a*, *b* devine:

$$U_m = \frac{\frac{Rr_v}{R + r_v}}{r_i + \frac{Rr_v}{R + r_v}} E = \frac{E}{1 + \frac{r_i}{R} \cdot \frac{R + r_v}{r_v}}.$$

Pentru ca $U \cong U_m$ este necesar ca raportul $\frac{R + r_v}{r_v}$ să fie aproximativ egal cu 1. Acest lucru este posibil numai dacă $r_v \gg R$ (în suma $R + r_v$, R să poată fi neglijat faţă de r_v).

○ **Concluzie.** Pentru ca la montarea voltmetrului în circuit funcţionarea acestuia din urmă să se modifice cît mai puţin, este necesar ca *rezisenţa voltmetrului să fie mult mai mare decît rezistenţa în paralel pe care se montează.*

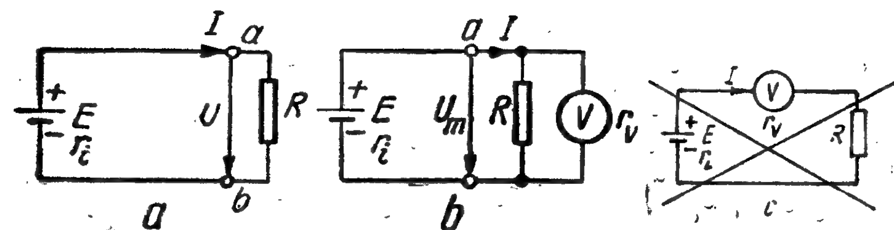


Fig. 3.6. Montarea voltmetrului în circuit:
a — circuitul fără voltmetru; *b* — circuitul cu voltmetrul montat corect; *c* — circuitul cu voltmetrul montat greşit.

○ **Important!** *La montarea greşită a voltmetrului, în serie cu circuitul* (fig. 3.6, *c*), datorită rezistenţei foarte mari a acestuia curentul în circuit scade foarte mult.

2. EXTINDEREA DOMENIULUI DE MĂSURARE

De obicei, căderea de tensiune nominală la bornele aparatelor magnetoelectrice este foarte mică, sub un volt. Cînd tensiunea de măsurat U este mai mare decît tensiunea nominală a aparatului, se poate extinde domeniul de măsurare cu ajutorul unor dispozitive numite *rezistenţe adiţionale.*

Rezistenţa adiţională *este o rezistenţă de valoare mare, care se montează în serie cu aparatul magnetoelectric şi pe care cade o parte din tensiunea de măsurat.*

● Pentru **dimensionarea rezistenţelor adiţionale** se consideră circuitul din figura 3.7. Se observă că atît prin instrumentul de măsurat, cît şi prin rezistenţa adiţională, trece acelaşi curent, I_a:

$$I_a = \frac{U_a}{r_a} = \frac{U}{r_a + r_{ad}}. \tag{3.16}$$

Din această relaţie se poate deduce:

$$\frac{U}{U_a} = \frac{r_a + r_{ad}}{r_a} = 1 + \frac{r_{ad}}{r_a} = n, \tag{3.17}$$

în care n indică de cîte ori tensiunea de măsurat este mai mare decît tensiunea nominală şi se numeşte *coeficient de multiplicare.*

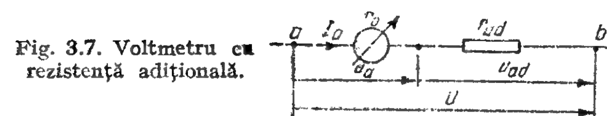


Fig. 3.7. Voltmetru cu rezistenţă adiţională.

Din relaţia:

$$n = 1 + \frac{r_{ad}}{r_a}$$

se obţine:

$$\boxed{r_{ad} = r_a(n - 1)} \quad (3.18)$$

Deci, pentru a extinde de n ori intervalul de măsurare al unui voltmetru, este necesară o rezistenţă adiţională de $n - 1$ ori mai mare decît rezistenţa aparatului magnetoelectric.

Exemplu. Un aparat magnetoelectric are $I_a = 1$ mA şi $r_a = 100\ \Omega$. Să se determine rezistenţa adiţională necesară pentru a putea măsura o tensiune $U = 10$ V.

$$U_a = I_a \cdot r_a = 0{,}001 \cdot 100 = 0{,}1\ \text{V};$$

$$n = \frac{U}{U_a} = \frac{10}{0{,}1} = 100;$$

$$r_{ad} = r_a(n - 1) = 100(100 - 1) = 9\ 900\ \Omega.$$

Rezistenţa totală a voltmetrului este:

$$r_v = r_a + r_{ad} = 100 + 9\ 900 = 10\ 000\ \Omega.$$

După cum se vede în exemplul de mai sus, rezistenţa adiţională este mult mai mare decît rezistenţa aparatului. De aceea, în relaţia $U = I_a(r_a + r_{ad})$ se poate neglija r_a şi se obţine:

$$U = I_a \cdot r_{ad}$$

$$r_{ad} = \frac{U}{I_a}.$$

Relaţia (3.19) arată că rezistenţa adiţională este proporţională cu tensiunea de măsurat şi valoarea ei depinde de curentul nominal al aparatului magnetoelectric.

• **Rezistenţa în ohmi pe volt.** Aparatele utilizate ca voltmetre sînt caracterizate adesea prin rezistenţa necesară pentru a extinde domeniul de măsurare cu un volt, cunoscută sub denumirea de „rezistenţă în Ω/V".

În relaţia (3.19), dacă se consideră $U = 1$ V, se obţine:

$$\boxed{R[\Omega/\text{V}] = \frac{1}{I_a}.} \quad (3.20)$$

Relaţia (3.20) arată că *rezistenţa în ohmi pe volt ce caracterizează un aparat este inversul curentului său nominal.*

Exemple. Un aparat avînd $I = 1$ mA, are 1 000 Ω/V.

Un voltmetru care are 50 000 Ω/V foloseşte un instrument de măsurat avînd curentul ominal $I_a = 20\ \mu$A.

Rezistenţa adiţională pentru un anumit domeniu de măsurare se va obţine înmulţind rezistenţa în ohmi pe volt cu tensiunea corespunzătoare intervalului respectiv:

$$r_{ad} = U\frac{1}{I_a} = \frac{U}{I_a}. \quad (3.21)$$

Exemplu. Un aparat de 10 000 Ω/V, pentru un interval de măsurare de 10 V, are nevoie de o rezistenţă adiţională de 100 000 Ω.

Avînd în vedere că voltmetrele trebuie să îndeplinească condiţia $r_v \gg R$, *cu cît voltmetrul are rezistenţa în ohm pe volt mai mare, cu atît el este mai bun.* Cele mai bune voltmetre care se construiesc în prezent folosesc aparate magnetoelectrice avînd curentul nominal de 10 μA, adică o rezistenţă de 100 000 Ω/V.

3. VOLTMETRE CU MAI MULTE DOMENII DE MĂSURARE

Unele voltmetre portative sînt prevăzute cu rezistenţe adiţionale pentru mai multe domenii de măsurare, ce se schimbă cu ajutorul unui comutator. Rezistenţele adiţionale pot fi realizate separat, cîte una pentru fiecare interval de măsurare, sau pot fi formate din mai multe rezistenţe legate în serie (fig. 3.8, *a* şi 3.8, *b*). Pentru cel de-al doilea caz:

$$r_{ad1} = R_1;$$
$$r_{ad2} = R_1 + R_2;$$
$$\cdots\cdots\cdots$$
$$r_{adk} = R_1 + R_2 + \ldots + R_k. \quad (3.22)$$

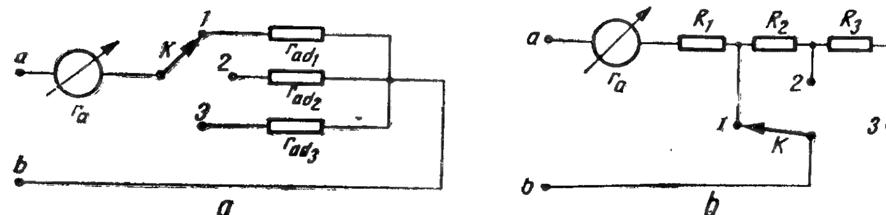


Fig. 3.8. Voltmetru cu mai multe intervale de măsurare:
a — cu cîte o rezistenţă adiţională pentru fiecare interval; *b* — cu rezistenţă în serie.

D. MĂSURAREA REZISTENȚELOR ELECTRICE

Rezistența electrică este o mărime egală cu raportul între tensiunea electrică aplicată între capetele unui conductor și intensitatea curentului produs de această tensiune în conductorul respectiv.

Unitatea de măsură pentru rezistența electrică în sistemul SI este **ohmul**, avînd ca simbol Ω:

$$1\ \Omega = \frac{1\text{V}}{1\text{A}}. \tag{3.23}$$

În circuitele electrice folosite în practică se întîlnesc rezistențe electrice cu o gamă largă de valori, ceea ce a condus la un mare număr de **metode de măsurat**. Dintre acestea, cele mai folosite sînt:

— *metoda indirectă a ampermetrului și voltmetrului*, cu variantele amonte și aval;
— *metodele de comparație*, dintre care:
  — metoda substituției;
  — metoda comparării tensiunilor;
  — metoda reducerii tensiunii la jumătate;
  — metode de punte.
— *metode cu citire directă*, folosind ohmmetre și megohmmetre.

1. METODA AMPERMETRULUI ȘI VOLTMETRULUI

Metoda ampermetrului și voltmetrului este o metodă indirectă: se măsoară tensiunea la bornele rezistenței cu voltmetrul și intensitatea curentului ce trece prin rezistență, cu ampermetrul; valoarea rezistenței de măsurat se obține aplicînd legea lui Ohm:

$$R = \frac{U}{I}.$$

Deoarece se folosesc două aparate de măsurat, se pune problema poziționării lor reciproce. Este posibil să se realizeze două variante (fig. 3.9), care diferă între ele prin poziția voltmetrului față de ampermetru. Împrumutînd termenii din navigația fluvială, se spune că în figura 3.9, *a* voltmetrul este în amonte față de ampermetru, iar în figura 3.9, *b* voltmetrul este în aval față de ampermetru. Oricare variantă se alege, se constată că se introduc erori sistematice de metodă. Important este să se știe în ce condiții aceste erori sînt minime. Pentru aceasta se vor analiza cele două variante pe rînd.

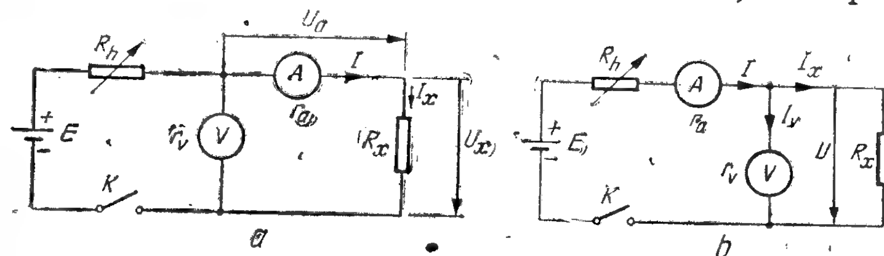


Fig. 3.9. Măsurarea rezistențelor prin metoda ampermetrului și voltmetrului: *a* — varianta amonte; *b* — varianta aval.

● **Varianta amonte** (fig. 3.9, *a*). Cu montajul din figura 3.9, *a* trebuie să se măsoare valoarea rezistenței R_x:

$$R_x = \frac{U_x}{I_x}.$$

Ampermetrul măsoară $I = I_x$.

Voltmetrul măsoară $U = U_a + U_x$ unde $U_i = I \cdot r_a$, r_a fiind rezistența ampermetrului.

Cu datele obținute, aplicînd legea lui Ohm, se calculează:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{U_a + U_x}{I} = r_a + R_x.$$

Se observă, că, în această variantă, se introduce eroare sistematică de metodă

$$\varepsilon = R - R_x = r_a.$$

Eroarea relativă, care indică precizia măsurării, va fi:

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{R_x} = \frac{r_a}{R_x}.$$

Pentru a obține o precizie cît mai mare, este necesar ca eroarea relativă să fie cît mai mică, deci

$$r_a \ll R_x.$$

○ **Concluzie.** *Varianta amonte se va folosi numai pentru măsurarea rezistențelor mari, mult mai mari decît rezistența ampermetrului.*

● **Varianta aval** (fig. 3.9, *b*). Cu montajul din figura 3.9, *b* trebuie să se măsoare valoarea rezistenței R_x.

Ampermetrul măsoară $I = I_x + I_v$, unde I_v este curentul prin voltmetru $\left(I_v = \dfrac{U}{r_v}\right)$, r_v fiind rezistența voltmetrului.

Voltmetrul măsoară $U_i = U_x$.

Cu datele obținute, aplicînd legea lui Ohm, se calculează:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{U}{I_x + I_v} = \frac{\frac{U}{I_x}}{1 + \frac{I_v}{I_x}} = \frac{R_x}{1 + \frac{I_v}{I_x} \cdot \frac{U}{U}} = \frac{R_x}{1 + \frac{R_x}{r_v}}.$$

Și în acest caz se introduce o eroare sistematică de metodă:

$$\varepsilon = R - R_x = \frac{R_x}{1 + \frac{R_x}{r_v}} - R_x = R_x \left(\frac{1}{1 + \frac{R_x}{r_v}} - 1 \right).$$

Eroarea relativă va fi:

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{R_x} = \frac{1}{1 + \frac{R_x}{r_v}} - 1.$$

Pentru a obține o precizie cît mai mare, eroarea relativă trebuie să fie mai mică, deci $r_v \gg R_x$.

○ **Concluzie.** *Varianta aval se va folosi numai pentru măsurarea rezistențelor mici, mult mai mici decît rezistența voltmetrului.*

Metoda ampermetrului și voltmetrului are avantajul că permite măsurarea rezistențelor sub curentul lor nominal, care se poate regla cu rezistența variabilă R_h.

2. METODE DE COMPARAȚIE

În metdele de comparație, valoarea rezistenței de măsurat se compară cu valoarea unor rezistențe cunoscute. Dintre metodele de comparație se vor studia: *metoda substituției, metoda comparării tensiunilor, metoda reducerii tensiunii la jumătate* și *metoda de punte.*

a. Metoda substituției

La măsurarea rezistențelor prin metoda substituției se folosește montajul din figura 3.10, în care:

E este o sursă de curent continuu cu rezistență internă neglijabilă;
R_0 — rezistență variabilă etalonată;
K — comutator cu două poziții;
A — ampermetru cu mai multe limite de măsurare.

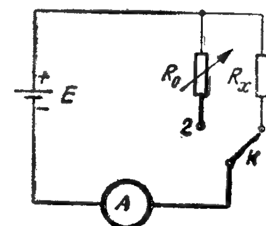


Fig. 3.10. Măsurarea rezistențelor prin metoda substituției.

Modul de lucru:

— se închide comutatorul K pe poziția *1* și se măsoară:

$$I_1 = \frac{E}{R_x};$$

— se trece comutatorul K pe poziția *2* și se măsoară:

$$I_2 = \frac{E}{R_0};$$

— se variază R_0 pînă cînd $I_2 = I_1$:

$$\frac{E}{R_x} = \frac{E}{R_0};$$

rezultă:

$$R_x = R_0.$$

○ **Concluzii.** Metoda substituției este simplă și rapidă. Se pot măsura atît rezistențe mari cît și rezistențe mici, comparabile cu R_0. Necesită însă o rezistență variabilă etalonată. Precizia metodei depinde de precizia rezistenței variabile și de precizia ampermetrului utilizat.

b. Metoda comparării tensiunilor

În metoda comparării tensiunilor, rezistența de măsurat R_x se compară cu o rezistență fixă R_0. Se folosește montajul din figura 3.11, în care:

E este o sursă de curent continuu de rezistență internă neglijabilă;
R_0 — rezistență fizică de valoare cunoscută;

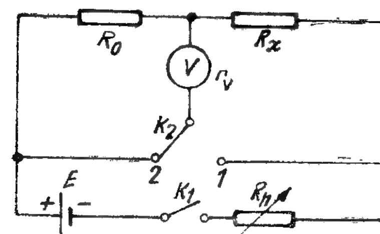


Fig. 3.11. Măsurarea rezistențelor prin metoda comparației.

K_1 — întrerupător;
K_2 — comutator cu două poziții;
V — voltmetru cu rezistență de intrare mare;
R_h — rezistență variabilă pentru reglarea intensității curentului.

Modul de lucru:

— se închide comutatorul K_1;

— se aşează comutatorul K_1 pe poziţia *1* şi se măsoară

$$U_1 = I \cdot R_x;$$

— se trece comutatorul K_2 pe poziţia *2* şi se măsoară

$$U_2 = I \cdot R_0.$$

Împărţind aceste relaţii între ele, se obţine

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_x}{R_0} \text{ şi rezultă } R_x = \frac{U_1}{U_2} R_0.$$

○ **Concluzii.** Metoda se foloseşte pentru a măsura rezistenţe mici în comparaţie cu rezistenţa voltmetrului. În acest caz, cele două rezistenţe R_0 şi R_x, se pot considera în serie şi deci sînt străbătute de acelaşi curent.

c. Metoda reducerii tensiunii la jumătate

Metoda reducerii tensiunii la jumătate este o metodă simplă şi rapidă, mult utilizată în practică. Se foloseşte montajul din figura 3.12, în care:

E este o sursă de curent continuu de rezistenţă internă neglijabilă;
R_0 — rezistenţă variabilă etalonată;
V — voltmetru cu rezistenţă de intrare mare faţă de R_x;
K — întrerupător.

Modul de lucru:

— se închide întrerupătorul K şi se măsoară tensiunea U_1 la bornele rezistenţei R_x. În acest caz, $U_1 = E$;

— se deschide întrerupătorul K, introducîndu-se în circuit şi rezistenţa R_0. Se măsoară din nou tensiunea pe rezistenţa R_x. De această dată, curentul prin circuit va fi:

$$I = \frac{E}{R_x + R_0},$$

iar tensiunea U_2 la bornele rezistenţei R_x va fi:

$$U_2 = IR_x = \frac{ER_x}{R_x + R_0}.$$

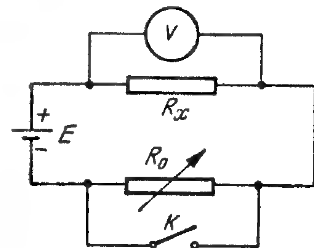


Fig. 3.12. Măsurarea rezistenţelor prin metoda reducerii tensiunii la jumătate.

Făcînd raportul între cele două tensiuni, se obţine:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_x + R_0}{R_x}.$$

Dacă se variază R_0 pînă cînd $U_2 = \frac{U_1}{2}$,

$$\frac{R_x + R_0}{R_x} = 2;\ R_x + R_0 = 2R_x \text{ şi rezultă } R_x = R_0.$$

Deci, cînd tensiunea scade la jumătate, rezistenţa de măsurat este egală cu rezistenţa variabilă R_0.

d. Metode de punte

Puntea este un circuit tipic care conţine patru elemente (braţe) dispuse într-o schemă sub forma unui patrulater (fig. 3.13). Circuitul se alimentează pe una dintre diagonalele patrulaterului, iar în cealaltă diagonală se montează un aparat indicator de nul. Cînd indicatorul de nul arată zero, între cele patru elemente ce formează puntea există o relaţie bine determinată, din care, cunoscînd valorile a trei elemente ale punţii, se deduce valoarea celui de-al patrulea.

Măsurarea rezistenţelor cu metode de punte prezintă următoarele *avantaje*:

— sensibilitate mare;
— precizie mare;
— domeniu larg de utilizare;
— manevrare uşoară.

Există diferite tipuri de punţi de măsurare. Cea mai răspîndită este puntea simplă, cunoscută sub numele de *punte Wheatstone*.

• **Schema de principiu a punţilor Wheatstone** este reprezentată în figura 3.13, în care:

R_x este rezistenţa de măsurat;
R_3 — o rezistenţă variabilă în decade;
R_1, R_2 sînt rezistenţele „de raport", cunoscute;
E — sursă de curent continuu;
K_1, K_2 sînt întrerupătoare;
G — un galvanometru (aparat magnetoelectric de mare sensibilitate cu zero la mijloc).

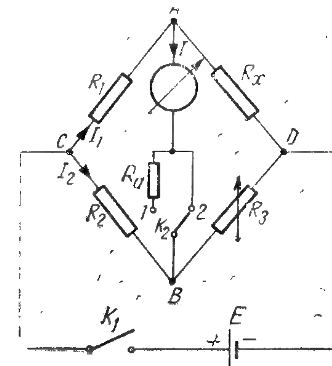


Fig. 3.13. Puntea Wheatstone.

● **Funcţionarea.** Rezistenţa de măsurat R_x se montează la bornele de măsurare ale punţii şi se închid întrerupătoarele K_1 şi K_2.

Se variază rezistenţa R_3 pînă cînd galvanometrul indică zero. În acest caz, punctele A şi B vor fi la acelaşi potenţial. Acest lucru este posibil numai dacă:

$$U_{CA} = U_{CB};$$
$$U_{DA} = U_{DB}. \quad (3.24)$$

Aplicînd legea lui Ohm pe cele patru braţe şi observînd că prin R_1 şi R_x trece acelaşi curent I_1 (prin diagonala în care este montat galvanometrul nu se ramifică curent), iar prin R_2 şi R_3 trece acelaşi curent I_2, se poate scrie:

$$I_1R_1 = I_2R_2;$$
$$I_1R_x = I_2R_3. \quad (3.25)$$

Împărţind cele două relaţii între ele, se obţine:

$$\frac{R_1}{R_x} = \frac{R_2}{R_3}, \text{ sau } \frac{R_1}{R_2} = \frac{R_x}{R_3}, \text{ sau } R_1 \cdot R_3 = R_2 \cdot R_x. \quad (3.26)$$

Aceste relaţii, care leagă între ele cele patru elemente ale unei punţi cînd prin diagonala în care se află galvanometrul curentul este zero, reprezintă *condiţia de echilibru a punţii*. Aceasta se poate exprima astfel:

La o punte în echilibru produsele braţelor opuse sînt egale.

sau:

La o punte în echilibru rapoartele braţelor alăturate sînt egale.

Din condiţia de echilibru, cunoscînd trei elemente ale punţii se deduce al patrulea:

$$R_x = R_3\frac{R_2}{R_1}. \quad (3.27)$$

Deci R_x se compară cu rezistenţele R_1, R_2, R_3 de valori cunoscute.

De obicei, rezistenţele R_1 şi R_2 pot lua valori de 10 Ω, 100 Ω sau 1 000 Ω, astfel încît raportul R_2/R_1 să reprezinte un factor de multiplicare pentru rezistenţa R_3. Precizia maximă se obţine pentru raportul $R_2/R_1 = 1$.

● **Protecţia galvanometrului.** Deoarece la începutul măsurării puntea poate să fie mult dezechilibrată, trebuie să se micşoreze sensibilitatea galvanometrului pentru a nu fi deteriorat la trecerea unui curent prea mare prin el. În acest scop, galvanometrul se protejează cu o rezistenţă care se poate introduce în serie prin intermediul comutatorului K_2.

La începutul măsurării, comutatorul K_2 este pe pozita *1* şi introduce în serie cu galvanometrul rezistenţa de protecţie R_a, ceea ce duce la scăderea sensibilităţii. Cînd echilibrul punţii a fost aproximativ atins, se trece comutatorul K_2 pe poziţia *2* şi se continuă echilibrarea cu o sensibilitate sporită.

Metodele de punte sînt cele mai sensibile şi mai precise metode folosite la măsurarea rezistenţelor electrice. La noi în ţară se construiesc punţi Wheatstone la Institutul Naţional de Metrologie din Bucureşti.

3. OHMMETRE ŞI MEGOHMMETRE

Ohmmetrele sînt aparate cu citire directă folosite la măsurarea rezistenţelor electrice. Funcţionarea lor se bazează pe legea lui Ohm. Există o mare varietate de scheme constructive, dar în general ele se pot reduce la două variante:

— *ohmmetre serie*;
— *ohmmetre derivaţi*.

a. Ohmmetrul serie

Ohmmetrul serie se caracterizează prin faptul că toate elementele sale sînt conectate în serie.

● **Schema** unui astfel de aparat este reprezentată în figura **3.14**, în care:

E — este o baterie de curent continuu (1,5 ... 18) V, cu rezistenţa r_i;
R — rezistenţă fixă, pentru limitarea curentului;
R_1 — rezistenţă variabilă;
mA — miliampermetru magnetoelectric, cu rezistenţa r_a;
A, B sînt bornele la care se montează rezistenţa de măsurat R_x.

● **Funcţionarea.** La montarea unei rezistenţe R_x între bornele A B, intensitatea curentului în circuitul ohmmetrului va fi:

$$I = \frac{E}{r_i + r_a + R_1 + R + R_x}. \quad (3.28)$$

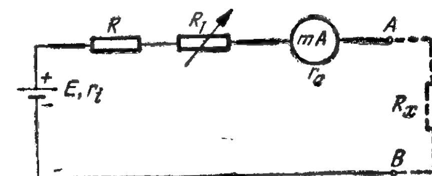


Fig. 3.14. Ohmmetru serie.

Valorile extreme se vor obține pentru $R_x = 0$ și $R_x = \infty$.
În cazul $R_x = 0$ (bornele A, B în scurtcircuit):

$$I = \frac{E}{r_i + r_a + R_1 + R}.$$

Aceasta este cea mai mare valoare pe care o poate avea intensitatea curentului. Pentru a folosi întreaga scară a miliampermetrului, se reglează R_1 astfel încît $I = I_{max}$ (indicația să fie la capătul scării).
În cazul $R_x = \infty$ (bornele A, B în gol):

$$I = \frac{E}{\infty} = 0.$$

Pentru valori ale lui R_x cuprinse între 0 și ∞, intensitatea curentului va varia între I_{max} și 0, conform relației (3.28).
Dacă se trasează pe cadranul miliampermetrului reperele corespunzătoare diferitelor valori ale lui R_x se constată că *scara gradată a ohmmetrului este inversă și foarte neuniformă* (fig. 3.15).
Ohmmetrul serie se folosește pentru *măsurarea rezistențelor mari*, comparabile cu suma $R + R_1$, obținîndu-se o precizie bună în domeniul $0{,}1\ (R + R_1) < R_x < 10\ (R + R_1)$.
Schimbînd rezistențele R și R_1 și, corespunzător, șunturile miliampermetrului, se pot realiza ohmmetre serie cu mai multe domenii de măsurare ($\times$ 1; $\times$ 10; $\times$ 100).

• **Reglarea ohmetrelor serie.** O problemă deosebită pe care o prezintă ohmmetrele este determinată de alimentarea lor de la baterii chimice. Acestea cu timpul îmbătrînesc (își măresc rezistența internă) ceea ce duce la indicații eronate. Pentru a evita înrăutățirea preciziei măsurării, înainte de utilizare este necesar să se regleze indicația corespunzătoare pentru $R_x = 0$, făcînd scurtcircuit între bornele A, B. Dacă acul indicator nu indică 0 Ω, se va regla rezistența pînă cînd se obține indicația corectă (variația rezistenței r_i).
Indicația corespunzătoare valorii $R_x = \infty$ (bornele A, B în gol) se reglează cu ajutorul corectorului de zero al aparatului magnetoelectric.

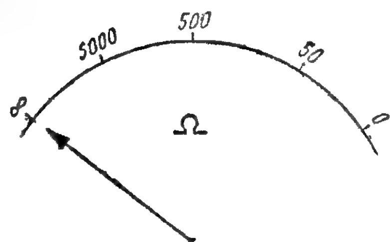


Fig. 3.15. Scara gradată a unui ohmmetru serie.

b. Ohmmetrul derivație

Ohmmetrul derivație se caracterizează prin faptul că miliampermetrul este montat în derivație cu porțiunea de circuit A, B supusă măsurării.

• **Schema** unui astfel de aparat este reprezentată în figura 3.16, în care:

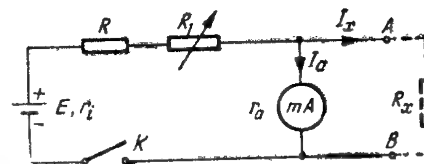


Fig. 3.16. Ohmmetru derivație.

E este o baterie de curent continuu (1,5 ... 18) V cu rezistența r_i;
R — rezistență fixă pentru limitarea intensității curentului;
R_1 — rezistență variabilă;
mA — miliampermetru magnetoelectric cu rezistența r_a;
A, B sînt bornele la care se montează rezistența de măsurat R_x;
K este întrerupător, pentru întreruperea circuitului cînd ohmmetrul nu funcționează.

• **Funcționarea.** După închiderea întrerupătorului K, la montarea unei rezistențe la bornele A, B, curentul debitat de sursa E se distribuie prin miliampermetru și prin R_x, cu valori invers proporționale cu rezistențele r_a și R_x:

$$\frac{I_a}{I_x} = \frac{R_x}{r_a}. \qquad (3.29)$$

Intensitatea curentului prin miliampermetru, I_a, va fi:
— pentru $R_x = 0$ (bornele A, B în scurtcircuit):
$I_a = 0$ (curentul va prefera calea prin $R_x = 0$);
— pentru $R_x = \infty$ (bornele A, B în gol):

$$I_a = \frac{E}{r_i + r_a + R + R_1}.$$

Aceasta este cea mai mare valoare pe care o poate lua intensitatea curentului prin miliampermetru. Pentru a folosi întreaga scară a miliampermetrului, se reglează R_1 astfel încît $I_a = I_{max}$.
Pentru valori ale lui R_x cuprinse între 0 și ∞, intensitatea curentului va varia între zero și I_{max}, conform relației (3.29).
Dacă se trasează pe cadranul miliampermetrului reperele corespunzătoare diferitelor valori ale lui R_x, se constată că de această dată *scara nu mai este inversă, dar rămîne foarte neuniformă* (fig. 3.17).

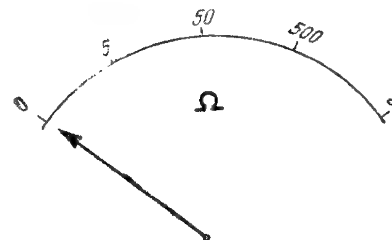


Fig. 3.17. Scara gradată a unui ohmmetru derivație.

Ohmmetrul derivație *măsoară valori mici ale rezistențelor*, comparabile cu r_a, obținîndu-se o precizie bună în domeniul

$$0{,}1\ r_a < R_x < 10\ r_a.$$

• **Reglarea ohmmetrului derivație.** Și la ohmmetrele derivație

intervine aceeaşi problemă a îmbătrînirii bateriilor chimice. De aceea, înainte de folosire, este necesară reglarea ohmmetrului. Reglarea se face pentru $R_x = \infty$ (lăsînd bornele A, B în gol), variind rezistenţa R_1 pînă se obţine indicaţia corectă. Indicaţia corespunzătoare valorii $R_x = 0$ se reglează din corectorul de zero al aparatului magnetoelectric.

O **Atenţie!** După efectuarea măsurărilor este necesar să se deschidă întrerupătorul K. În caz contrar, circuitul rămîne alimentat şi bateria se consumă inutil.

c. Megohmmetre

Megohmmetrele sînt aparate cu citire directă destinate să măsoare rezistenţe foarte mari, de ordinul megaohmilor. Ele funcţionează pe acelaşi principiu ca ohmmetrele, cu deosebirea că sînt alimentate de tensiuni mult mai mari, de ordinul sutelor sau miilor de volţi.

• **Sursele de alimentare** cele mai frecvent folosite sînt *magnetoul* şi *alimentatorul cu convertizor tranzistorizat.*

Magnetoul este un mic generator de curent continuu, alcătuit dintr-un magnet permanent şi o bobină care se roteşte între polii acestuia, acţionată de o manivelă.

Alimentatorul cu convertor tranzistorizat este un dispozitiv alimentat la o tensiune continuă de cîţiva volţi, obţinută de la baterii chimice şi care dă la ieşirea sa o tensiune continuă de sute sau mii de volţi necesară alimentării megohmmetrului. El funcţionează astfel: tensiunea mică de la bateriile chimice alimentează un oscilator tranzistorizat care transformă tensiunea continuă în tensiune alternativă. Valoarea acesteia se poate mări cu ajutorul unui transformator pînă la valoarea dorită, după care se redresează, obţinîndu-se tensiune continuă de valoare mare.

• **Ca instrument indicator** la megohmmetre se folosesc aparate magnetoelectrice sau logometre magnetoelectrice.

VERIFICAREA CUNOŞTINŢELOR

1. Ce se întîmplă dacă se montează un aparat megnetoelectric într-un circuit străbătut de curent alternativ?
2. Cum trebuie montat ampermetrul în circuit? Dar voltmetrul? Ce se întîmplă la montarea lor greşită?
3. Ce metode se folosesc la măsurarea rezistenţelor mici? Dar la măsurarea rezistenţelor mari?
4. De ce trebuie protejat galvanometrul la punţile de măsurat?
5. De ce este necesară reglarea ohmmetrelor înainte de utilizare? În cazul unor indicaţii incorecte, cum se realizează reglajele necesare?

Capitolul 4.

APARATE DE MĂSURAT PENTRU CURENT ALTERNATIV DE JOASĂ FRECVENŢĂ

A. APARATE FEROMAGNETICE

Aparatele feromagnetice mai sînt cunoscute şi sub denumirea de *aparate electromagnetice* sau *aparate cu fier mobil.*

1. PRINCIPIUL DE FUNCŢIONARE

Aparatele feromagnetice funcţionează pe baza acţiunii cîmpului magnetic al unei bobine fixe parcurse de curentul de măsurat, asupra unor plăcuţe din material feromagnetic, care sînt atrase sau respinse în interiorul bobinei.

2. DESCRIEREA APARATULUI

Aşa cum s-a menţionat în principiul de funcţionare, pot exista două variante constructive: *cu atracţie* şi *cu respingere.*

• **Aparatul feromagnetic cu atracţie** (fig. 4.1) are *dispozitivul pentru producerea cuplului activ* compus dintr-o bobină fixă *1*, plată, în interiorul căreia, la trecerea curentului prin bobină, este atrasă o piesă *2* din materialferomagnetic, aşezată excentric pe axul *3* al echipajului mobil. *Cuplul rezistent* este produs de un singur arc spiral *6*, care are un capăt fixat pe axul echipajului mobil, iar pe celălalt — la *corectorul de zero*, *7*. O dată cu echipajul mobil se deplasează şi acul indicator *4* care, împreună cu scara gradată, formează *dispozitivul de citire*. *Amortizorul 8* este pneumatic cu paletă.

• **Aparatul feromagnetic cu respingere** (fig. 4.2) are *dispozitivul pentru producerea cuplului activ* compus dintr-o bobină fixă *1* de formă cilindrică, şi din două plăcuţe din material feromagnetic dintre care o plăcuţă (*2*) este fixată pe bobină, iar cealaltă (*3*) este fixată pe axul *4* al echipajului mobil. La trecerea curentului prin bobină, cele două plăcuţe se magnetizează şi se resping între ele, dînd naştere cuplului activ care pune în mişcare echipajul mobil. *Cuplul rezistent* este produs de arcul spiral *7*, care are un capăt montat la *corectorul de zero*. Acul indicator *5*, fixat pe axul echipajului mobil, împreună cu scara gradată formează *dispozitivul de citire*. *Amortizorul 6* este cu paletă.

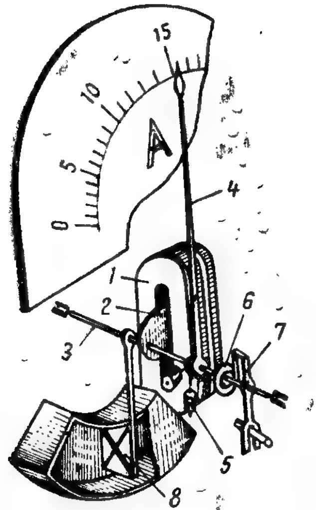


Fig. 4.1. Aparat feromagnetic cu atracție.

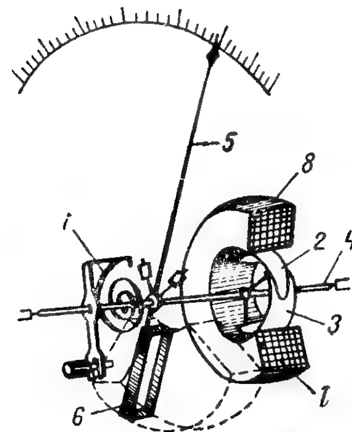


Fig. 4.2. Aparat feromagnetic cu respingere.

3. FUNCȚIONAREA

La trecerea curentului electric prin bobină, piesele din material feromagnetic se magnetizează și sînt atrase sau respinse în interiorul bobinei.

- **Cuplul activ,** care ia naștere și care pune în mișcare echipajul mobil, este proporțional cu pătratul **intensității curentului** ce trece prin bobină:

$$M_a = kI^2. \tag{4.1}$$

- **Cuplul rezistent** creat de arcul spiral crește proporțional cu unghiul de deviație, $\alpha (M_r = D\alpha)$.
- La un moment dat, cuplul rezistent devine egal cu cuplul activ, obținîndu-se starea de echilibru ($M_a = M_r$). Înlocuind în ecuația de echilibru expresiile celor două cupluri, rezultă:

$$kI^2 = D\alpha;$$

$$\alpha = \frac{k}{D} I^2.$$

Notînd $\frac{k}{D} = K$, se obține **caracteristica statică de funcționare** a aparatelor feromagnetice:

$$\boxed{\alpha = KI^2} \tag{4.2}$$

4. PROPRIETĂȚI

După cum arată ecuația caracteristicii statice de funcționare, aparatele feromagnetice *nu au scară uniformă*. Dacă K ar fi independent de α, s-ar obține o scară pătratică. În practică însă, prin soluții constructive convenabile (alegînd adecvat dimensiunile și forma pieselor componente) se poate face ca factorul K să scadă cînd α crește, compensînd în acest mod neliniaritatea scării. Se realizează o scară aproape uniformă, cu excepția primelor repere.

Sensibilitatea este mică, putîndu-se măsura intensități ale curentului începînd de la zeci de miliamperi.

Precizia aparatelor feromagnetice este mică. De obicei ele sînt de clasa 1,5—2,5. Folosirea aliajelor magnetice speciale, de exemplu permaloy, permite obținerea unor clase de precizie superioare (începînd cu clasa 0,5).

Consumul propriu de putere este mare (0,5—7,5 VA).

Aparatele feromagnetice *funcționează atît în curent continuu, cît și în curent alternativ*. În curent alternativ, o dată cu schimbarea sensului curentului schimbîndu-se atît direcția fluxului magnetic, cît și polaritatea magnetizării pieselor feromagnetice, cuplul activ acționează tot timpul în același sens.

Indicațiile sînt *influențate de fenomenul de histerezis și de curenții turbionari*. În curent continuu, datorită fenomenului de histerezis, aparatele dau indicații diferite pentru aceleași valori crescătoare și descrescătoare ale intensității curentului. În curent alternativ, datorită curenților turbionari ce se induc în piesele feromagnetice, care au o acțiune demagnetizantă, indicațiile sînt mai mici decît în curent continuu cu 1—2%. Întrucît erorile cresc cu frecvența, aceste aparate nu se folosesc decît pînă la cîteva sute de herți.

Aparatele feromagnetice *sînt influențate de cîmpurile magnetice exterioare*, deoarece cîmpul magnetic propriu este relativ redus. Pentru a înlătura acest dezavantaj, aparatele se ecranează sau se construiesc aparate astatice. Un aparat feromagnetic astatic este format din două bobine conectate în serie, ale căror cîmpuri magnetice sînt egale, dar de sens contrar. Cîmpurile exterioare întăresc cîmpul unei bobine și slăbesc cîmpul celeilalte, obținîndu-se un efect total nul.

○ **Concluzie.** Aparatele feromagnetice au performanțe relativ slabe. În schimb sînt robuste, simple și au cost redus. De aceea sînt cele mai răspîndite aparate pentru măsurări industriale.

5. UTILIZĂRI

Aparatele feromagnetice se utilizează ca *ampermetre* și *voltmetre de curent alternative*, de tablou sau portative.

- **Ampermetrele feromagnetice** nu se folosesc de obicei cu șunturi datorită posibilității de a confecționa bobine pentru curenți mari.

Se pot realiza astfel aparate care pot măsura direct pînă la sute de amperi. De obicei însă se realizează ampermetre de 1A sau 5A, iar pentru măsurarea curenţilor de intensităţi mai mari se folosesc transformatoare de curent.

● **În cazul folosirii ca voltmetre,** se realizează aparate feromagnetice cu un curent nominal de 70—30 mA, ceea ce înseamnă o rezistenţă adiţională de 30—700 Ω/V. Căderea de tensiune la bornele aparatelor feromagnetice este de circa 1 V, Pentru extinderea domeniului de măsurare pînă la cîteva sute de volţi, se folosesc rezistenţe adiţionale. Pentru măsurarea tensiunilor mai mari, se folosesc transformatoarele de tensiune.

B. APARATE ELECTRODINAMICE

1. PRINCIPIUL DE FUNCŢIONARE

Funcţionarea aparatelor electrodinamice se bazează pe acţiunea forţelor electrodinamice ce se exercită între bobine fixe şi mobile parcurse de curenţi. Din această interacţiune ia naştere cuplul activ care tinde să rotească bobina mobilă.

2. DESCRIEREA APARATULUI

Aparatul electrodinamic este reprezentat în figura 4.3. *Dispozitivul pentru producerea cuplului activ* este realizat din două bobine fixe *1*, legate în serie sau în paralel, printre care trece axul *3* al echipajului mobil pe care este fixată bobina mobilă *2*. *Cuplul rezistent* este creat de două arcuri spirale *8*, care servesc şi la aducerea curentului la bobina mobilă. Unul dintre arcuri are un capăt fixat la *corectorul de zero 5*. Pe ax este montat şi acul indicator *4*, care împreună cu scara gradată formează *dispozitivul de citire*. *Amortizorul* este pneumatic, cu paletă sau cu piston (*6*, *7*).

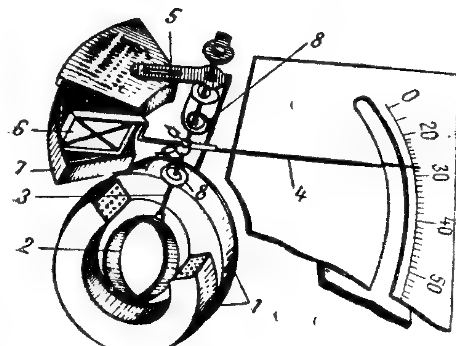


Fig. 4.3. Aparat electrodinamic.

3. FUNCŢIONAREA

● **Cuplul activ.** Aparatele electrodinamice avînd două circuite (bobinele fixe şi bobina mobilă), pot fi parcurse de doi curenţi, I_1 prin bobinele fixe şi I_2 prin bobina mobilă. Din interacţiunea cîmpurilor create de cei doi curenţi, apar forţele electrodinamice care acţionează asupra bobinei mobile. Cuplul activ depinde de produsul celor doi curenţi.

În curent continuu, cuplul activ va fi:

$$M_a = kI_1I_2. \tag{4.3}$$

În curent alternativ, cuplul activ depinde de produsul valorilor instantanee ale intensităţilor celor doi curenţi:

$$m_a = ki_1i_2. \tag{4.4}$$

În cazul curenţilor sinusoidali:

$$i_1 = I_1\sqrt{2}\sin\omega t;$$

$$i_2 = I_2\sqrt{2}\sin(\omega t + \varphi),$$

unde φ este defazajul dintre cei doi curenţi. În acest caz, cuplul activ va fi:

$$\begin{aligned} m &= kI_1\sqrt{2}\sin\omega t\cdot I_2\sqrt{2}\sin(\omega t+\varphi) = \\ &= kI_1I_2[\cos\varphi + \cos(2\omega t+\varphi)] = \\ &= kI_1I_2\cos\varphi + kI_1I_2\cos(2\omega t+\varphi). \end{aligned} \tag{4.5}$$

După cum reiese din relaţia (4.5), cuplul activ are două componente. Cea de-a doua, variind cosinusoidal în timp, are valoarea medie zero. Rezultă că valoarea medie a cuplului activ este:

$$M_{a\ med} = kI_1I_2\cos\varphi. \tag{4.6}$$

● Echipajul mobil nu va putea urmări variaţiile cuplului activ, ci se va deplasa sub acţiunea cuplului activ mediu, pînă cînd cuplul rezistent devine egal cu cuplul activ.

● Din relaţia de echilibru $M_a = M_r$ rezultă **caracteristica statică de funcţionare** a aparatelor electrodinamice.

În curent continuu.

$$\alpha = KI_1I_2. \tag{4.7}$$

În curent alternativ.

$$\alpha = KI_1I_2\cos\varphi. \tag{4.8}$$

4. UTILIZĂRI

Aparatele electrodinamice se pot folosi ca *ampermetre, voltmetre* sau *wattmetre*.

● **Ampermetre electrodinamice.** *Pentru curenţi mici*, sub 0,5 A, bobinele fixe şi bobina mobilă se leagă în serie (fig. 4.4, *a*). În acest

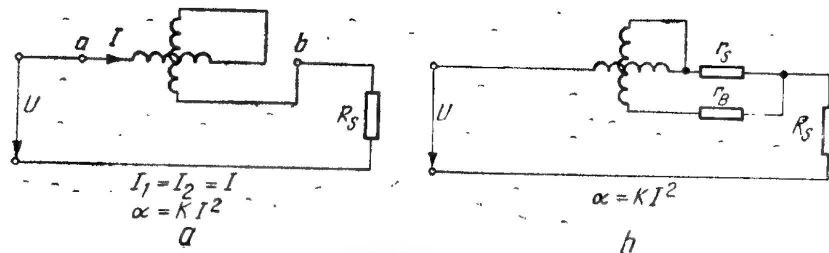


Fig. 4.4. Ampermetru electrodinamic:
a — pentru curenţi mici; *b* — pentru curenţi mari.

caz, $I_1 = I_2 = I$ şi relaţiile (4.7) şi (4.8) devin:

$$\alpha = KI^2. \quad (4.9)$$

Relaţia (4.9) indică o scară pătratică pentru ampermetrele electrodinamice cînd K este independent de α. În practică, prin soluţii constructive adecvate se obţine un factor K scăzător cu α, astfel încît scara aparatului se uniformizează (cu excepţia primelor repere).

Pentru curenţi mai mari se foloseşte de obicei schema din figura 4.4, *b*, în care bobina mobilă este legată în serie cu bobina fixă şi este montată în paralel cu şuntul r_s. Astfel, prin bobina mobilă trece numai o parte din curentul care străbate bobinele fixe. Rezistenţa r_B, în serie cu bobina mobilă, are rolul de a evita erorile suplimentare date de variaţia temperaturii sau de variaţia frecvenţei (rezistenţa r_B, confecţionată din manganină, nu variază cu frecvenţa, pe cînd bobina mobilă are înfăşurarea din cupru, a cărui rezistenţă variază cu aproximativ 0,4%/K; de asemenea, bobina mobilă prezintă o reactanţă inductivă ce variază cu frecvenţa).

- **Voltmetre electrodinamice.** Volmetrele electrodinamice se realizează dintr-un miliampermetru electrodinamic în serie cu o rezistenţă adiţională (fig. 4.5). Curentul $I = I_1 = I_2$ ce trece prin bobinele aparatului legate în serie va fi:

$$I = \frac{U}{r_a + r_{ad}}, \quad (4.10)$$

unde:

U este tensiunea de măsurat;

r_a — rezistenţa bobinelor aparatului legate în serie;

r_{ad} — rezistenţa adiţională.

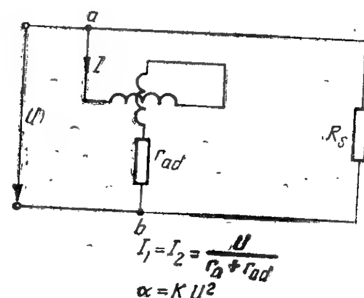


Fig. 4.5. Voltmetru electrodinamic.

Ţinînd seama de relaţia (4.10), relaţiile (4.7) şi (4.8) devin:

$$\alpha = K\left(\frac{U}{r_a + r_{ad}}\right)^2 = K_1U^2. \quad (4.11)$$

Relaţia (4.11) indică o scară pătratică cînd K este independent de α. Şi în acest caz, ca şi la ampermetre, prin soluţii constructive convenabile se poate obţine un factor K scăzător cu α, astfel încît scara aparatului să se uniformizeze.

- **Wattmetre electrodinamice.** Cel mai frecvent, aparatele electrodinamice sînt utilizate ca wattmetru. În acest caz, bobina mobilă şi bobinele fixe nu se leagă între ele, ci formează circuite independente (fig. 4.6). Bobinele fixe, numite *bobine de curent*, se leagă în serie în circuit, prin ele trecînd acelaşi curent ca şi prin sarcină ($I_1 = I$). Bobina mobilă, numită *bobină de tensiune*, se leagă împreună cu o rezistenţă adiţională în paralel pe circuit astfel încît curentul ce o parcurge este $I_2 = \frac{U}{r + r_{ad}}$, unde r este rezistenţa bobinei mobile.

În acest caz, relaţia (4.7) devine:

$$\alpha = KI\frac{U}{r + r_{ad}} = K_1IU = K_1P, \quad (4.12)$$

iar relaţia (4.8) devine:

$$\alpha = KI\frac{U}{r + r_{ad}}\cos\varphi = K_1IU\cos\varphi = K_1P. \quad (4.13)$$

În cazul wattmetrelor se poate realiza o scară uniformă, obţinînd prin construcţie un factor K independent de α.

De obicei, în schemele electrice wattmetrele se figurează printr-un cerc intersectat de o linie orizontală, care reprezintă bobinele fixe, şi o linie verticală care reprezintă bobina mobilă (ca în fig. 4.6, *b*).

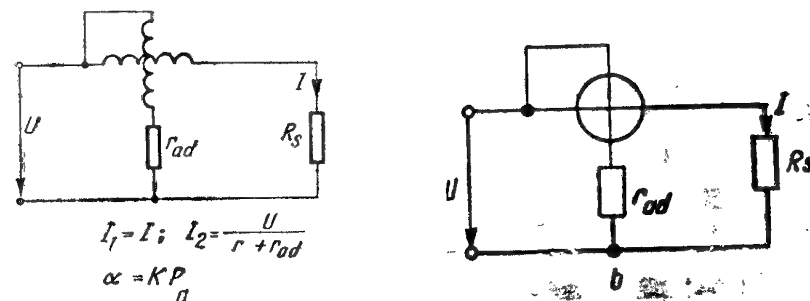


Fig. 4.6. Wattmetru electrodinamic.

5. PROPRIETĂȚI

Aparatele electrodinamice, cînd **sînt folosite** ca *wattmetre, au scară uniformă.* Ca *ampermetre și voltmetre au scară neuniformă* dar prin soluții constructive convenabile se poate realiza o uniformizare a scării gradate.

Sensibilitatea aparatelor electrodinamice *este bună,* putîndu-se măsura intensități ale curentului începînd cu ordinul miliamperilor.

Precizia este foarte bună, ele fiind cele mai precise aparate de curent alternativ (începînd cu clasa 0,1). Din acest motiv sînt folosite ca ampermetre și voltmetre etalon și de laborator pentru c.a.

Consumul propriu de putere este foarte mare (2—10 W).

Aparatele electrodinamice *funcționează atît în curent continuu, cît și în curent alternativ.* În curent alternativ, curentul își schimbă sensul în ambele bobine simultan, astfel încît cuplul activ are mereu același sens.

Indicațiile sînt influențate de frecvența curentului, ceea ce face ca aceste aparate să fie utilizate doar pînă la circa 1 500 Hz.

Aparatele electrodinamice *sînt puternic influențate de cîmpurile magnetice exterioare,* deoarece cîmpul lor propriu, închizîndu-se prin aer, este slab. Din acest motiv aparatele se ecranează sau se construiesc astatice.

Deoarece curentul este adus la bobina mobilă prin arcurile spirale, aparatele electrodinamice *sînt sensibile la suprasarcini.*

Datorită construcției complicate, *au cost ridicat.*

6. PREVENIREA DEFECȚIUNILOR ȘI REMEDIERI

● Aparatele electrodinamice sînt sensibile la suprasarcini. De aceea este necesar să *se aleagă cu atenție aparatele și domeniile lor de funcționare,* corespunzător tensiunilor și intensităților curenților care intervin în timpul măsurărilor.

● *La montarea unui wattmetru în circuit,* bobina de curent trebuie montată în serie, iar bobina de tensiune — în paralel.

● **Se reamintește că** în cazul în care apar defecțiuni la aparatele de măsurat, se recomandă repararea acestora în laboratoare specializate, și că în urma reparațiilor aparatele trebuie supuse verificărilor metrologice.

C. APARATE FERODINAMICE

Aparatele ferodinamice au același principiu de funcționare ca și aparatele electrodinamice, cu deosebirea că bobinele au miezuri feromagnetice. Datorită acestui fapt, cîmpul magnetic este mai intens,

forțele electrodinamice sporesc, ceea ce face ca sensibilitatea aparatelor să fie mai mare. În schimb, precizia scade datorită pierderilor în fier, a fenomenului de histerezis și a curenților turbionari ce iau naștere în miezul magnetic.

Cîmpul propriu fiind mai puternic, aparatele ferodinamice sînt mai puțin influențate de cîmpurile exterioare.

Aparatele ferodinamice sînt foarte răspîndite și se folosesc, de obicei, ca *wattmetre* sau *varmetre.*

D. APARATE CU REDRESOR ȘI APARATE UNIVERSALE

Aparatul cu redresor este alcătuit dintr-un *aparat magnetoelectric* și un *redresor.*

Dintre toate tipurile de aparate de măsurat electrice, aparatul magnetoelectric prezintă proprietățile cele mai avantajoase, dar funcționează numai în curent continuu. Asociindu-se un aparat magnetoelectric cu un redresor, se obține un aparat care păstrează calitățile aparatului magnetoelectric (sensibilitatea mare, consum de putere redus, puțin influențat de cîmpurile exterioare), dar care funcționează în curent alternativ.

● **Redresorul** este un dispozitiv care lasă să treacă curentul într-un singur sens, transformînd în acest mod curentul alternativ în curent continuu pulsatoriu. Caracteristica curent-tensiune a unui element redresor este reprezentată în figura 4.7, în care se vede că la aplicarea unor tensiuni pozitive elementul redresor lasă să treacă curentul electric, în timp ce la aplicarea unor tensiuni negative intensitatea curentului este mult mai mică, practic neglijabilă (pentru valorile negative intensitatea curentului este de ordinul microamperilor).

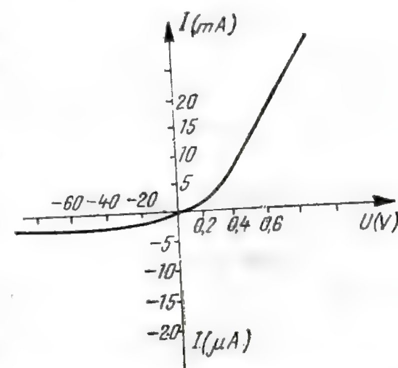


Fig. 4.7. Caracteristica curent-tensiune a unui element redresor.

Ca elemente redresoare se folosesc *redresoare cu cuproxid* sau *diode semiconductoare.*

● Elementele redresoare se asociază cu aparatul magnetoelectric în diferite **scheme de redresare.** Astfel se întîlnesc:

— *scheme cu redresarea unei singure alternanțe:*

— fără transformator;
— cu transformator;
— *scheme cu redresarea ambelor alternanțe:*
— cu transformator cu priză mediană;
— în punte.

1. APARATE CU REDRESOR CU REDRESAREA UNEI SINGURE ALTERNANȚE

În figura 4.8 sînt reprezentate scheme ale aparatelor care folosesc redresarea unei singure alternanțe.

Cea mai simplă, cea din figura 4.8, *a*, constă dintr-un redresor *R* în serie cu un aparat magnetoelectric. La aplicarea unei tensiuni alternative la bornele acestui circuit, redresorul permite trecerea curentului într-un singur sens (numai în cursul unei alternanțe). În cealaltă alternanță, redresorul prezintă o rezistență foarte mare, ceea ce face ca aproape toată tensiunea să se regăsească la bornele sale. Această situație ar putea duce la străpungerea redresorului. De asemenea, în timpul alternanței în care redresorul nu conduce, curentul în circuit se întrerupe.

Pentru a evita aceste fenomene, în practică se utilizează schema din figura 4.8, *b*. În această schemă se conectează, în paralel cu redresorul R_1 și cu aparatul magnetoelectric, încă un redresor, R_2, cu polaritate inversă, în serie cu o rezistență r_0 egală cu rezistența r_a a aparatului magnetoelectric.

În figura 4.8, *c* este reprezentată schema cu transformator.

În toate cele trei scheme menționate, la aplicarea unei tensiuni sinusoidale curentul trece prin aparatul magnetoelectric numai în timpul unei singure alternanțe, deci are o formă pulsatorie. Cuplul activ, care este proporțional cu intensitatea curentului, are aceeași formă de variație în timp. Inerția echipajului mobil nu permite urmărirea acestor variații, ci doar a valorii medii. Cuplul activ mediu este proporțional cu valoarea medie a curentului și, ca urmare, indicația aparatului va fi:

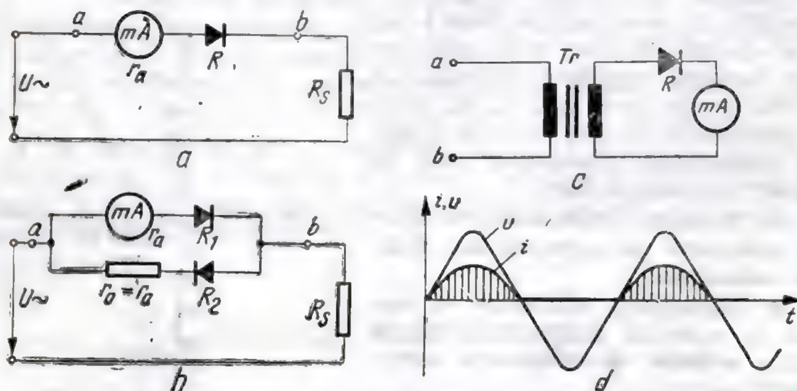


Fig. 4.8. Aparate cu redresor cu redresarea unei singure alternanțe:
a — cu o diodă; *b* — cu două diode; *c* — cu transformator; *d* — diagramele curentului și tensiunii în cazul redresării unei singure alternanțe.

$$\alpha = KI_{med} \tag{4.14}$$

Deci, ***aparatele cu redresor au indicațiile proporționale cu valoarea medie a intensității curentului electric.***

În practică însă, de cele mai multe ori, este necesar să se măsoare valoarea eficace a intensității curentului. În acest scop, scara gradată a aparatelor cu redresor se transcrie în valori eficace, folosind un factor de proporționalitate care depinde de forma curentului.

Astfel, în curentul alternativ sinusoidal

$$I_{med} = \frac{I_{max}}{\pi} \text{ și } I_{max} = \sqrt{2}\, I_{ef}, \text{ deci } I_{med} = \frac{\sqrt{2}}{\pi} I_{ef}.$$

Înlocuind în expresia (4.14) valoarea I_{med}, se obține:

$$\alpha = K\frac{\sqrt{2}}{\pi} I_{ef} = K_1 I_{ef}. \tag{4.15}$$

Pe baza relației (4.15), aparatele cu redresor se pot etalona în valori eficace.

○ **Atenție!** *Această etalonare este valabilă numai pentru curenți de formă sinusoidală.*

2. APARATE CU REDRESOR CU REDRESAREA AMBELOR ALTERNANȚE

Aparatele care folosesc scheme cu redresarea ambelor alternanțe se caracterizează printr-o sensibilitate mai bună, întrucît la aplicarea unei tensiuni alternative curentul trece prin aparat în timpul ambelor alternanțe în același sens (fig. 4.9).

În *schema cu transformator cu priză mediană*, reprezentată în figura 4.9, *a*, dioda D_1 conduce într-o alternanță, iar dioda D_2 conduce în cealaltă. De fiecare dată curentul trece prin aparat în același sens.

În *schema în punte* din figura 4.9, *b*, în timpul unei alternanțe conduc diodele D_1 și D_3, iar în timpul celeilalte conduc diodele D_2 și D_4. Schema din figura 4.9, *c* este mai economică deoarece utilizează doar două diode, însă are o sensibilitate mai redusă, curentul derivîndu-se și prin rezistențele *R* montate în punte.

După cum se vede în figura 4.9, *d*, într-o perioadă prin aparat trec două impulsuri de curent. Dacă s-a notat cu I_{med} valoarea medie

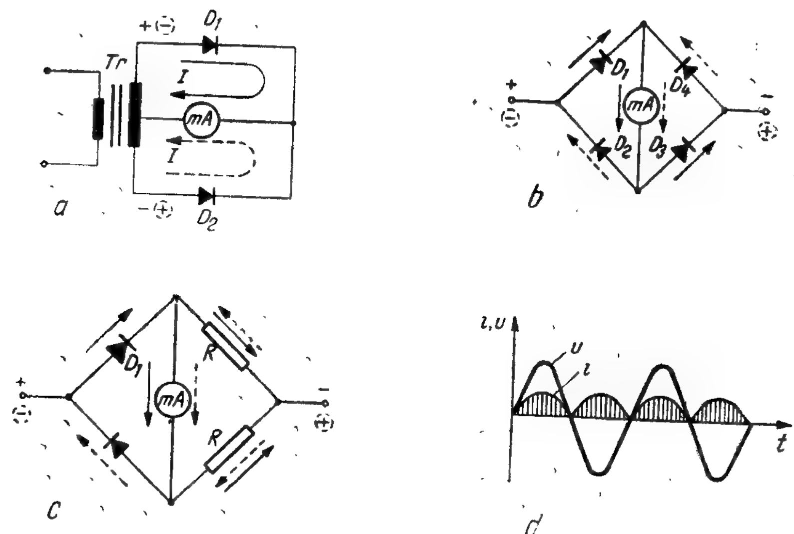


Fig. 4.9. Aparate cu redresor cu redresarea ambelor alternanţe:
a — cu transformator cu priză mediană; b — în punte cu patru diode; c — în punte cu două diode; d — diagramele curentului şi tensiunii în cazul redresării ambelor alternanţe.

corespunzătoare unei alternanţe, în cazul aparatelor cu redresarea ambelor alternanţe $\alpha = 2K \cdot I_{med}$, deci la aceeaşi valoare a curentului de măsurat indicaţia este de două ori mai mare şi ca urmare sensibilitatea este dublă.

3. APARATE UNIVERSALE (MULTIMETRE)

Aparatele universale, care se numesc şi *multimetre,* sînt aparate destinate să măsoare diferite mărimi electrice. Ele folosesc ca instrument indicator un aparat magnetoelectric însoţit de un redresor. Aparatele universale se realizează într-o mare varietate de tipuri constructive, care pot fi clasificate după posibilităţile de măsurare în: *voltampermetre, avometre* şi *aparate universale complexe.*

a. Voltampermetre

Voltampermetrele sînt cele mai simple aparate universale. După cum le spune şi numele, ele măsoară tensiuni electrice şi intensităţi ale curentului electric. Folosind diferite rezistenţe adiţionale şi diferite şunturi (de obicei şunt universal), ele funcţionează cu mai multe intervale de măsurare. Se pot utiliza atît în curent continuu, folosind aparatul magnetoelectric fără redresor, cît şi în curent alternativ cînd, prin intermediul unui comutator, se introduce redresorul. Un exemplu de voltampermetru este reprezentat în figura 4.10.

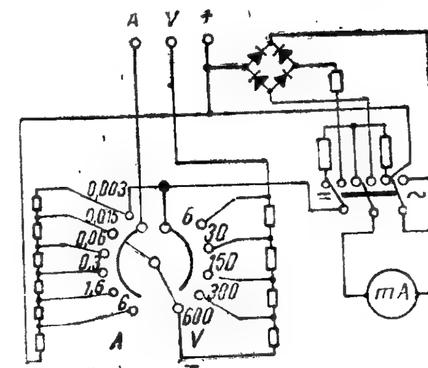


Fig. 4.10. Voltampermetru pentru c.c. şi c.a.

b. Avometre

Avometrele (amper-volt-ohm-metre) îndeplinesc toate funcţiile voltampermetrelor şi în plus pot funcţiona ca ohmmetre cu una sau mai multe limite de măsurare. În acest scop, ele sînt dotate cu o baterie chimică pentru alimentarea circuitului de ohmmetru şi cu o rezistenţă variabilă pentru reglarea aparatului înainte de utilizare.

c. Aparate universale complexe

În prezent se construiesc aparate universale complexe care, în afara măsurărilor posibile cu avometrul, mai permit şi alte măsurări cum ar fi: măsurarea capacităţilor, măsurări în decibeli, măsurarea tranzistoarelor etc.

Aparatele universale se caracterizează prin numărul de mărimi ce pot fi măsurate, prin limitele de măsurare corespunzătoare diferitelor mărimi, prin precizia şi sensibilitatea lor.

Calitatea aparatelor universale se apreciază prin cea mai mică limită de măsurare pentru intensitatea curentului continuu (10 μA, 20 μA, 50 μA ...) sau prin rezistenţa adiţională exprimată în Ω/V.

Aparatele universale de bună calitate au valori ale rezistenţei adiţionale între 10 000 Ω/V şi 100 000/V.

În ţara noastră se construiesc diferite aparate universale (multimetre) la *Întreprinderea de Aparate Electrice de Măsurat* (I.A.E.M.) din Timişoara. Un exemplu este multimetrul tip MAVO-1 care permite:

— măsurarea intensităţii curentului continuu;
— măsurarea tensiunii continue;
— măsurarea tensiunii alternative;
— măsurarea rezistenţelor.

Cînd este folosit ca voltmetru, aparatul prezintă o rezistenţă de 20 000 Ω/V în c.c. şi de 5 000 Ω/V în c.a.

● **Atenţie!** Multimetrele fiind de obicei aparate portabile, *pentru prevenirea accidentelor trebuie acordată o deosebită atenţie manevrării lor.*

1) La multimetrele industriale, izolaţia dintre partea de circuite şi carcasă este încercată în fabrică la o tensiune de ordinul kilovolţilor, astfel că aparatele prezintă garanţie în funcţionare, nefiind pericol de electrocutare la atingerea carcasei. Este însă interzis a se atinge părţi neizolate ale aparatelor (borne, capetele libere ale cordoanelor), în timp ce acestea se află sub tensiune.

2) La utilizarea aparatelor, o atenţie deosebită se va acorda cordoanelor de măsurare, ce leagă aparatul de circuitul de măsurat. De obicei, multimetrele se livrează cu cordoane speciale de măsurare. Acestea trebuie verificate înaintea fiecărei măsurări, iar cele găsite defecte trebuie reparate. Este interzisă folosirea cordoanelor defecte sau a unor cordoane improvizate.

3) Pentru măsurare se vor monta întîi cordoanele în multimetru şi numai după aceea ansamblul se va conecta în circuitul de măsurat. La deconectare ordinea va fi inversă; întîi se va deconecta din circuitul de măsurat ansamblul cordoane-multimetru şi numai după aceea se vor putea demonta cordoanele de la multimetru.

VERIFICAREA CUNOŞTINŢELOR

1. De ce aparatele feromagnetice sînt foarte răspîndite?
2. De ce aparatele electrodinamice se folosesc ca ampermetre şi voltmetre etalon şi de laborator?
3. Care dintre aparatele studiate se pot folosi ca wattmetre şi de ce?
4. Ce motive au dus la asocierea aparatului megnetoelectric cu un redresor?
5. Dacă un aparat cu redresor are scara gradată în valori eficace, poate fi folosit a măsurarea unor curenţi de formă dreptunghiulară? Dar dacă scara este gradată în valori medii?
6. Prin ce se caracterizează un multimetru? Dar calitatea lui prin ce se apreciază?
7. Care este deosebirea dintre voltampermetru şi un avometru?

Capitolul 5

MĂSURAREA PUTERII ELECTRICE

A. NOŢIUNI GENERALE

Puterea reprezintă energia consumată în unitatea de timp:

$$P = \frac{W}{t}. \tag{5.1}$$

Unitatea de măsură pentru putere în Sistemul Internaţional (SI) este *wattul*, avînd ca simbol W.

În c.c. întreaga energie absorbită de un consumator de la o sursă se consumă, în sensul că se transformă în alte forme de energie (calorică, mecanică, luminoasă etc.).

În c.a. nu întotdeauna întreaga energie absorbită de la sursă se consumă. În cazul circuitelor ce conţin componentele reactive (bobine sau condensatoare) o parte din energie se înmagazinează sub formă de energie reactivă. Avînd în vedere acest lucru, în c.a. se deosebesc următoarele tipuri de puteri electrice:

— *putere aparentă;*
— *putere activă;*
— *putere reactivă.*

Puterea aparentă *este egală cu produsul dintre valoarea eficace a tensiunii la care se alimentează consumatorul şi valoarea eficace a intensităţii curentului ce trece prin consumator:*

$$S = UI. \tag{5.2}$$

Unitatea de măsură pentru puterea aparentă este *voltamperul* [VA].

Puterea activă *reprezintă puterea consumată* (transformată în alte forme de energie) *şi este egală cu produsul dintre valoarea eficace a tensiunii, valoarea eficace a intensităţii curentului şi cosinusul unghiului φ, de defazaj dintre tensiune şi curent:*

$$P = UI \cos\varphi. \tag{5.3}$$

Unitatea de măsură pentru puterea activă este *wattul* [W].

Puterea reactivă *reprezintă energia care circulă între generator şi receptor în unitatea de timp, fără a se transforma în alte forme de ener-*

gie. Această energie este înmagazinată de componentele reactive sub formă de cîmp electric în cazul condensatoarelor sau de cîmp electromagnetic în cazul bobinelor. Puterea reactivă *este egală cu produsul dintre valoarea eficace a tensiunii, valoarea eficace a intensității curentului și sinusul unghiului* φ, *de defazaj între tensiune și curent :*

$$Q = UI \sin \varphi. \tag{5.4}$$

Unitatea de măsură pentru puterea reactivă este *varul* [var]. Între puterile aparentă, activă și reactivă există relația :

$$S^2 = P^2 + Q^2. \tag{5.5}$$

B. MĂSURAREA PUTERII ELECTRICE ÎN C.C.

1. METODA AMPERMETRULUI ȘI VOLTMETRULUI

În c.c. puterea se poate calcula cu relația :

$$\boxed{P = U \cdot I.} \tag{5.6}$$

Pornind de la această relație, se poate deduce că puterea consumată în c.c. de un receptor avînd rezistența electrică R se poate măsura cu un voltmetru și un ampermetru folosind un montaj ca în figura 5.1. Voltmetrul se va monta fie *în amonte* (comutatorul K pe poziția a), fie *în aval* (comutatorul K pe poziția b), în funcție de mărimea rezistenței R. Cînd $R \gg r_a$ (r_a fiind rezistența ampermetrului) se va folosi varianta amonte. Cînd $R \ll r_v$ (r_v fiind rezistența voltmetrului) se va folosi varianta aval.

● **În varianta amonte**, voltmetrul va indica $U = U_R + U_a$, iar ampermetrul va indica $I = I_R$. Citind indicațiile voltmetrului și ampermetrului și aplicînd relația (5.6), se obține :

$$P = U \cdot I = (U_R + U_a)I = U_R I + U_a I = I^2 R + I^2 r_a = P_R + P_a,$$

unde P_R este puterea consumată de receptorul R, iar P_a este puterea consumată de ampermetru. Dacă $R \gg r_a$, atunci $P_a \gg P_R$ și se poate considera cu o eroare acceptabilă $P \cong P_R$.

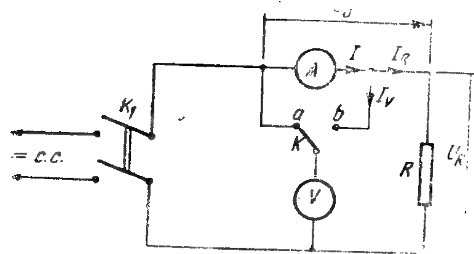


Fig. 5.1. Măsurarea puterii în c.c. cu ampermetrul și voltmetrul.

● **În varianta aval**, ampermetrul măsoară $I = I_R + I_v$, iar voltmetrul $U = U_R$. Citind indicațiile ampermetrului și voltmetrului și aplicînd relația (5.6), se obține :

$$P = U \cdot I = U(I_R + I_v) = U \cdot I_R + U \cdot I_v = \frac{U^2}{R} + \frac{U^2}{r_v} = P_R + P_v,$$

unde P_R este puterea consumată de receptorul R, iar P_v este puterea consumată de voltmetru. Dacă $R \ll r_v$ atunci $P_v \ll P_R$ și se poate considera cu o eroare acceptabilă $P \cong P_R$.

2. MĂSURAREA CU WATTMETRUL ELECTRODINAMIC SAU FERODINAMIC

După cum se știe din capitolul IV, indicația aparatelor electrodinamice și ferodimamice în c.c. este proporțională cu produsul intensităților curenților ce străbat bobinele fixe și mobile ale aparatelor :

$$\alpha = K \cdot I_1 \cdot I_2. \tag{5.7}$$

Dacă bobinele fixe, numite și bobine de curent, se montează în serie cu consumatorul, $I_1 = I$ și dacă bobina mobilă, numită și bobină de tensiune, împreună cu o rezistență adițională, r_{ad}, se montează în paralel cu consumatorul, atunci $I_2 = U/r_{ad}$ și relația (5.7) devine :

$$\alpha = KI\frac{U}{r_{ad}} = K_1 IU = K_1 P. \tag{5.8}$$

Relația (5.8) arată că indicația aparatelor electrodinamice și ferodinamice este proporțională cu puterea electrică și ca urmare ele se pot grada direct în wați, obținîndu-se o *scară uniformă*.

○ **Montajul utilizat pentru măsurarea puterii electrice cu wattmetrul electrodinamic sau ferodinamic** este cel din figura 5.2.

○ **Observație.** Deoarece la wattmetre există pericolul de supraîncărcare chiar dacă indicația aparatului este sub limita de măsurare (valorile lui I sau U pot depăși valorile nominale chiar dacă produsul IU este în limite normale), la utilizarea wattmetrului este necesar să se monteze un ampermetru în serie și un voltmetru în paralel cu ajutorul cărora să se poată urmări încărcarea wattmetrului.

Se observă că și în cazul montajului din figura 5.2 se poate alege *varianta amonte* (K pe poziția a) sau *aval* (K pe

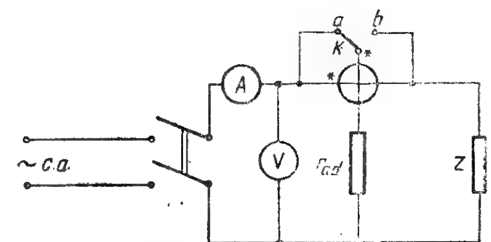


Fig. 5.2. Măsurarea puterii în c.c. cu wattmetrul electrodinamic.

poziţia *b)* după aceleaşi criterii ca şi la metoda ampermetrului şi voltmetrului.

• **Montarea wattmetrului în circuit.** Pentru a obţine o indicaţie corectă în sensul că acul indicator să se deplaseze de la stînga la dreapta, este necesar să se respecte o anumită ordine de legare a celor două bobine. În acest scop, wattmetrele sînt prevăzute cu cîte o bornă marcată printr-un semn distinctiv atît la bobina de curent, cît şi la bobina de tensiune. Bornele marcate se vor lega întotdeauna spre sursă, ca în figura 5.2.

• **Wattmetre cu mai multe domenii de măsurare.** Wattmetrele cu mai multe domenii de măsurare sînt prevăzute cu mai multe domenii pentru intensitatea curentului electric şi mai multe domenii pentru tensiune (de exemplu: $I_1 = 0{,}5$ A; $I_2 = 1$ A; $U_1 = 150$ V; $U_2 = 300$ V).

Pentru a putea determina puterea măsurată de wattmetru, este necesar să se cunoască constanta K_W a wattmetrului, corespunzătoare domeniilor alese pentru intensitatea curentului şi pentru tensiune. *Constanta K_W reprezintă puterea corespunzătoare unei diviziuni a scării gradate.* Dacă wattmetrul are α_{max} diviziuni, de exemplu $\alpha_{max} = 150$ div, constanta K_W se calculează cu relaţia:

$$K_W = \frac{I_n \cdot U_n}{\alpha_{max}} \left[\frac{\text{W}}{\text{div}}\right], \qquad (5.9)$$

unde:

I_n este domeniul de măsurare ales pentru intensitatea curentului;
U_n — domeniul de măsurare ales pentru tensiune;
α_{max} — numărul maxim de diviziuni ale scării gradate.

Puterea măsurată de wattmetru, în cazul în care acul indicator arată α diviziuni, va fi:

$$P = K_W \cdot \alpha. \qquad (5.10)$$

C. MĂSURAREA PUTERII ELECTRICE ÎN CIRCUITE DE C.A. MONOFAZAT

1. MĂSURAREA PUTERII APARENTE

Avînd în vedere că puterea aparentă este egală cu produsul dintre intensitatea curentului absorbit de un consumator şi tensiunea la care se alimentează consumatorul, se poate deduce că măsurarea acesteia se poate realiza *cu un voltmetru şi un ampermetru.* Montajul folosit este reprezentat în figura 5.3. După cum se observă, şi în cazul

acestui montaj ca şi în cel reprezentat în figura 5.1, se poate alege *varianta amonte* sau *varianta aval,* în funcţie de impedanţa consumatorului Z. Citind indicaţiile ampermetrului şi voltmetrului şi neglijînd puterile absorbite de cele două aparate (în cazul alegerii corecte a variantei aval sau amonte), puterea aparentă se poate calcula cu relaţia:

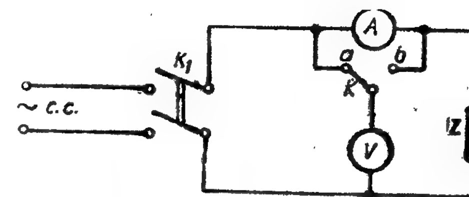


Fig. 5.3. Măsurare puterii aparente.

$$S = U \cdot I.$$

2. MĂSURAREA PUTERII ACTIVE

Puterea activă se poate măsura cu *wattmetrul electrodinamic* sau *ferodinamic.* În c.a., după cum s-a arătat în capitolul IV, indicaţia aparatelor electrodinamice şi ferodinamice este:

$$\alpha = K \cdot I_1 \cdot I_2 \cos(\widehat{I_1 I_2}). \qquad (5.11)$$

Dacă, la fel ca în c.a., se va monta un astfel de aparat cu bobinele fixe în serie cu consumatorul, iar bobina mobilă împreună cu o rezistenţă adiţională se va monta în paralel cu consumatorul, atunci

$$I_1 = I,\ I_2 = \frac{U}{r_{ad}} \text{ şi relaţia (5.11) devine:}$$

$$\alpha = K \cdot I \frac{U}{r_{ad}} \cos(\widehat{IU}) = K_1 \cdot IU \cos\varphi = K_1 P. \qquad (5.12)$$

Relaţia (5.12) arată că în c.a. indicaţia aparatelor electrodinamice şi ferodinamice este proporţională cu puterea activă şi, ca urmare, ele pot fi folosite ca wattmetre.

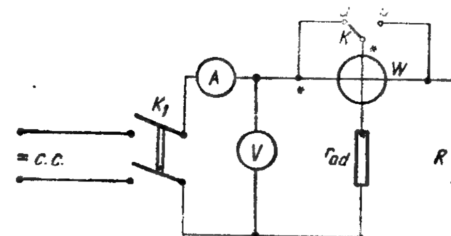


Fig. 5.4. Măsurarea puterii active cu wattmetrul electrodinamic.

Montarea wattmetrelor în circuit se va face ca în figura 5.4, alegînd *varianta amonte* sau *aval,* în funcţie de mărimea consumatorului Z, avînd grijă ca bornele marcate să fie legate spre sursă.

Cînd wattmetrele au mai multe domenii de măsurare, se va proceda ca şi în cazul măsurării puterii în c.c.

3. MĂSURAREA PUTERII REACTIVE

Puterea reactivă se poate măsura fie *indirect*, fie *direct cu aparate a căror scară este gradată în vari*, numite varmetre.

• **Metoda indirectă.** Cunoscînd relaţia (5.5) care leagă între ele puterile aparente, activă şi reactivă, puterea reactivă se poate determina măsurînd puterea aparentă prin metoda ampermetrului şi voltmetrului, puterea activă cu wattmetrul electrodinamic sau ferodinamic şi aplicînd relaţia:

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}.$$

Metoda indirectă se foloseşte mai rar, deoarece nu dă rezultate precise din cauza numărului mare de aparate întrebuinţate şi a consumului acestora.

• **Măsurarea puterii reactive cu varmetrul.** Puterea reactivă se poate măsura direct cu aparate numite *varmetre*. Varmetrele sînt realizate tot cu aparate electrodinamice sau ferodinamice, dar, spre deosebire de wattmetre, varmetrele au în serie cu bobina mobilă în loc de rezistenţă adiţională o bobină sau un condensator, care introduc un defazaj suplimentar de 90°.

După cum se ştie, puterea reactivă este dată de relaţia:

$$Q = KI \sin \varphi,$$

iar indicaţia aparatelor electrodinamice şi ferodinamice este:

$$\alpha = KI_1I_2 \cos (\widehat{I_1I_2}).$$

unde I_1 este intensitatea curentului care trece prin bobina fixă, iar I_2 este intensitatea curentului care trece prin bobina mobilă. Dacă un aparat electrodinamic sau ferodinamic se montează cu bobina fixă în serie cu consumatorul, iar *bobina mobilă împreună cu o bobină adiţională de inductanţă mare* se montează în paralel cu consumatorul (fig. 5.5,*a*), atunci $I_1 = I$, $I_2 = \frac{U}{L\omega}$, iar unghiul de defazaj între

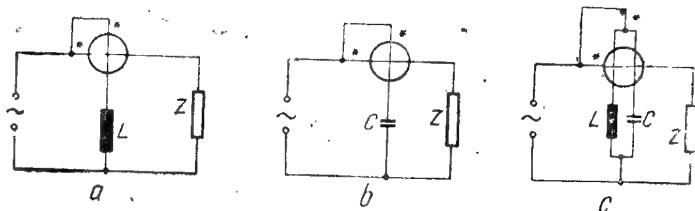


Fig. 5.5. Varmetre electrodinamice:
a — cu bobină adiţională; *b* — cu condensator adiţional; *c* — compensat.

I_1 şi I_2 devine $90° - \varphi$, deoarece bobina adiţională defazează curentul în urma tensiunii, cu 90°. În acest caz indicaţia devine:

$$\alpha = KI\frac{U}{L\omega}\cos(90° - \varphi) = K\frac{1}{L\omega}IU\sin\varphi = \frac{K}{L\omega}Q. \quad (5.13)$$

Relaţia (5.13) arată că în cazul în care în locul rezistenţei adiţionale se montează o bobină adiţională, indicaţia aparatelor electrodinamice şi ferodinamice este proporţională cu puterea reactivă, deci ele funcţionează ca varmetre.

Dacă *în serie cu bobina mobilă se montează un condensator de capacitate C* (fig. 5.5. *b*), indicaţia devine:

$$\alpha = KIUC\omega\cos(90° + \varphi) = KIUC\omega\sin\varphi = KC\omega Q. \quad (3.14)$$

După cum se observă, şi în cazul bobinei adiţionale şi în cazul condensatorului adiţional, indicaţia depinde de frecvenţă. Pentru a se micşora influenţa frecvenţei asupra indicaţiilor, se construiesc *varmetre compensate*, cu două bobine de tensiune cuplate pe acelaşi ax, una dintre ele în serie cu o bobină, iar cealaltă în serie cu un condensator (fig. 5.5, *c*). În acest caz se obţine:

$$\alpha = K\left(\frac{1}{L\omega} + C\omega\right)Q.$$

La varmetrele compensate, în jurul frecvenţei pentru care este îndeplinită condiţia $LC\omega^2 = 1$ indicaţiile sînt foarte puţin influenţate de frecvenţă.

Montarea varmetrelor în circuit este asemănătoare cu montarea wattmetrelor, fiind necesară montarea bornelor marcate spre sursă. La o montare corectă varmetrul va indica în sensul normal dacă defazajul dintre U şi I este inductiv şi în sens contrar dacă defazajul este capacitiv. În acest ultim caz, se vor inversa bornele uneia dintre bobine.

Capitolul 6

MĂSURAREA ENERGIEI ELECTRICE ÎN CIRCUITE DE C.A. MONOFAZAT

A. NOŢIUNI GENERALE

În capitolul precedent s-a definit puterea prin energia consumată în unitatea de timp. Dacă puterea rămîne constantă într-un anumit interval de timp t_2-t_1, se poate considera energia consumată în intervalul respectiv de timp ca fiind:

$$W = P(t_2 - t_1).$$

În general însă, în practică puterea nu rămîne constantă. În acest caz, se poate împărţi intervalul de timp t_1-t_2 în intervale mici de timp Δt, în care să se considere că puterea rămîne constantă. În această ipoteză, energia activă consumată în intervalul de timp t_2-t_1 se poate considera a fi egală cu suma energiilor active elementare consumate în intervalele Δt. Deci:

$$W = \sum_{k=1}^{n} P_k \Delta t_k, \tag{6.1}$$

unde:

$$\sum_{k=1}^{n} \Delta t_k = t_2 - t_1.$$

În mod analog se poate defini *energia reactivă* ca fiind:

$$W_r = \sum_{k=1}^{n} Q_k \Delta t_k. \tag{6.2}$$

Unitatea de măsură pentru energia activă este *wattsecunda*, iar pentru energia reactivă este *varsecunda*. În practică se folosesc multiplii wattoră şi kilowattoră şi respectiv: varoră şi kilovaroră.

Energia electrică se măsoară cu aparate numite **contoare.** Contoarele sînt alcătuite dintr-un *dispozitiv wattmetric* al cărui cuplu activ este proporţional cu puterea şi *un mecanism integrator* care însumează energiile elementare într-un anumit interval de timp.

În funcţie de mărimea măsurată, contoarele pot fi *de energie activă sau de energie reactivă*.

În funcţie de principiul de funcţionare, contoarele pot fi electrodinamice sau de inducţie. Cel mai răspîndit contor este contorul de inducţie. El funcţionează însă numai în c.a. Pentru măsurarea energiei în c.c. se folosesc contoare electrodinamice.

B. CONTORUL DE INDUCŢIE

Contorul de inducţie, reprezentat în figura 6.1, se compune dintr-un dispozitiv de inducţie şi un mecanism integrator.

1. DISPOZITIVUL DE INDUCŢIE

● **Principiul de funcţionare** a dispozitivului de inducţie constă în acţiunea cîmpurilor magnetice create de circuite inductoare fixe, asupra curenţilor pe care aceste circuite îi induc în piese conductoare mobile. Din interacţiunea dintre cîmpurile magnetice şi curenţii induşi, apare un cuplu activ care pune în mişcare piesa mobilă.

● Dispozitivul de inducţie folosit în contoarele de c.a. **este realizat** dintr-un disc de aluminiu ce se poate roti în jurul unui ax vertical şi doi electromagneţi (un electromagnet de curent *1* şi un electromagnet de tensiune *2*).

● **Funcţionarea.** Electromagnetul de curent se montează în serie cu consumatorul deci este parcurs de curentul *I* din circuit. El produce un flux Φ_I, care străbate de două ori discul în sensuri contrare. Electromagnetul de tensiune este montat în paralel cu consumatorul, deci este alimentat cu tensiunea de la bornele consumatorului. El creează un flux Φ_U, care străbate discul o singură dată. Fluxurile Φ_U şi Φ_I induc curenţii în disc.

Datorită interacţiunii dintre curenţii induşi şi fluxuri, ia naştere un cuplu activ care

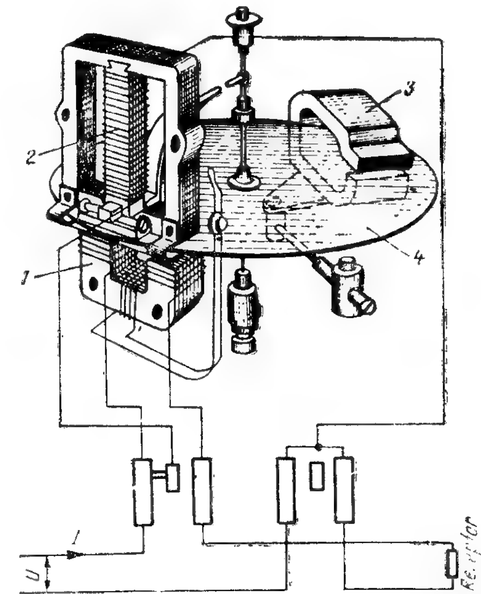


Fig. 6.1. Contor de inducţie monofazat.

pune în mişcare discul. Se poate demonstra că acest cuplu activ este proporţional cu cele două fluxuri şi cu sinusul unghiului α de defazaj între ele:

$$M_U = K\Phi_I\Phi_U \sin \alpha.$$

Pentru ca să se obţină un cuplu activ proporţional cu puterea activă, $P = UI \cos \varphi$, unde φ este defazajul dintre tensiune şi curent, dispozitivul de inducţie se realizează astfel încît fluxul Φ_I să fie proporţional cu I şi aproximativ în fază cu I, iar fluxul Φ_U să fie proporţional cu U şi defazat cu aproximativ $\frac{\pi}{2}$ faţă de U. În acest scop bobina electromagnetului de tensiune se realizează cu inductanţă mare.

Ţinînd seama că între I şi U există defazajul φ şi că între Φ_U şi U s-a creat un defazaj de $\frac{\pi}{2}$ unghiul dintre cele două fluxuri devine:

$$\alpha = \frac{\pi}{2} - \varphi.$$

Avînd în vedere cele de mai sus, se poate scrie:

$$M_a = K\Phi_U\Phi_I \sin\left(\frac{\pi}{2} - \varphi\right) = K_1 UI \cos \varphi = K_1 P. \quad (6.3)$$

Rezultă deci că se obţine un cuplu activ proporţional cu puterea activă din circuit.

Cuplului activ i se opune un cuplu de frînare, realizat cu un magnet permanent *3*. Cînd discul se roteşte cu o viteză de rotaţie n, intersectează liniile de cîmp ale magnetului permanent şi iau naştere în disc curenţi induşi proporţional cu viteza de rotaţie n. Din interacţiunea acestor curenţi cu fluxul creat de magnetul permanent, se obţine un cuplu de frînare proporţional şi el cu viteza de rotaţie a discului:

$$M_f = K_2 n. \quad (6.4)$$

Cînd cuplul de frînare devine egal cu cuplul activ, discul se roteşte cu viteză constantă. În acest caz:

$$M_a = M_f,$$

adică:

$$K_1 P = K_2 n, \quad (6.5)$$

de unde:

$$n = \frac{K_1}{K_2} P = K_3 P.$$

Relaţia (6.5) arată că viteza de rotaţie a discului este proporţională cu puterea activă.

Numărul total de rotaţii $N = n(t_2 - t_1)$ pe care le face discul într-un interval de timp este proporţional cu suma energiilor elementare consumate în intervalul de timp respectiv, adică:

$$N = n(t_2 - t_1) = K_3 P(t_2 - t_1) = K_3 W;$$

$$W = \frac{1}{K_3} N = CN.$$

Constanta C se numeşte *constanta reală a contorului*. În practică se foloseşte frecvent inversul acestei constante:

$$C_n = \frac{1}{C} = \frac{N}{W}\left[\frac{\text{rot}}{\text{kWh}}\right].$$

C_n se numeşte constanta nominală a contorului şi reprezintă numărul de rotaţii pe care le face discul pentru un consum de energie egal cu 1 kWh. De obicei această constantă este înscrisă pe carcasa contorului. De exemplu: $C_n = 480$ rot/kWh.

2. MECANISMUL INTEGRATOR

Mecanismul integrator realizat cu roţi dinţate conţine un sistem de transmisie şi un dispozitiv de înregistrare. Sistemul de transmisie este astfel alcătuit încît la un număr de rotaţii ale discului egal cu constanta nominală, să se transmită primei roţi a dispozitivului de înregistrare o mişcare egală cu o zecime de rotaţie. Cînd această roată, care indică unităţile, face o rotaţie completă, a doua roată dinţată care indică zecile se va roti cu o zecime de rotaţie ş.a.m.d.

3. CONECTAREA CONTOARELOR ÎN CIRCUIT

Conectarea contoarelor în circuit se face conform aceloraşi scheme ca şi în cazul wattmetrelor.

Pentru măsurarea energiilor reactive se folosesc contoare de energie reactivă, la care cuplul activ este proporţional cu puterea reactivă.

Contoarele de energie uzuale sînt de clasa de precizie *2*. Există şi contoare de clasa 1 sau 0,5 folosite ca etaloane sau în scopuri speciale.

Tensiunea nominală a contoarelor monofazate este de 220 V, iar curenţii nominali sînt de 10 A sau de 5 A.

VERIFICAREA CUNOŞTINŢELOR

1. La măsurarea puterilor electrice, cînd se va alege varianta amonte? dar varianta aval?
2. Ce se întîmplă cînd bornele marcate ale wattmetrului nu sînt legate corect în circuit?
3. De ce la utilizarea wattmetrelor electrodinamice se recomandă să se folosească în montaj şi un ampermetru şi un voltmetru?
4. La măsurarea puterii active cu un wattmetru care are scara gradată cu 100 diviziuni, se alege $I_n = 0{,}5$ A şi $U_n = 300$ V. Ce putere se va măsura cînd acul indicator arată 40 diviziuni? Dar cînd arată 74 diviziuni?
5. Ce deosebiri pot exista între un wattmetru electrodinamic şi un varmetru electrodinamic?
6. Un contor are constanta nominală $C_n = 480$ rot/kWh. Cîte rotaţii a făcut discul de aluminiu, dacă se înregistrează un consum de energie egal cu 275 kWh?

Capitolul 7

TRANSFORMATOARE DE MĂSURAT

Transformatoarele de măsurat sînt transformatoare electrice speciale, larg utilizate în tehnica măsurărilor datorită următoarelor avantaje:

— permit extinderea intervalelor de măsurare ale aparatelor de măsurat utilizate în curent alternativ (ampermetre, voltmetre, wattmetre, varmetre, contoare etc.);

— asigură protecția personalului de deservire, prin izolarea aparatelor de măsurat față de circuitele de înaltă tensiune;

— permit standardizarea aparatelor de măsurat pentru anumite valori adoptate la fabricarea în serie a acestora: 5 A sau 1 A pentru ampermetre și 100 V sau 110 V pentru voltmetre.

După mărimea pe care o reduc, transformatoarele de măsurat se împart în *transformatoare de curent* și *transformatoare de tensiune*.

Uneori ele sînt numite „reducătoare" de curent sau de tensiune.

Principiul de funcționare al acestor transformatoare este asemănător cu cel al transformatoarelor de forță și constă în transferul de energie electromagnetică de la o înfășurare primară la o înfășurare secundară, prin fenomentul de inducție electromagnetică.

Construcția. Un transformator este un ansamblu de bobine (înfășurări) cuplate magnetic. Pentru a se realiza un cuplaj magnetic strîns, cele două înfășurări sînt așezate pe un miez magnetic comun, astfel încît aproape tot fluxul magnetic creat de o înfășurare să treacă și prin cealaltă. În figura 7.1 este reprezentat schematic un transformator. Pe miezul magnetic sînt înfășurate N_1 spire reprezentînd înfășurarea primară și N_2 spire reprezentînd înfășurarea secundară. La bornele înfășurării primare se aplică o tensiune U_1, iar la bornele înfășurării secundare se obține o tensiune U_2. Prin înfășurarea primară trece un curent de intensitate I_1, iar prin înfășurarea secundară — un curent de intensitate I_2. Rolul transformatorului este de a transmite energia electromagnetică din circuitul primar în circuitul secundar, modificînd parametrii care caracterizează această energie (tensiunea și intensitatea curentului de la ieșire au valori diferite de cele ale tensiunii și ale intensității curentului de la intrare).

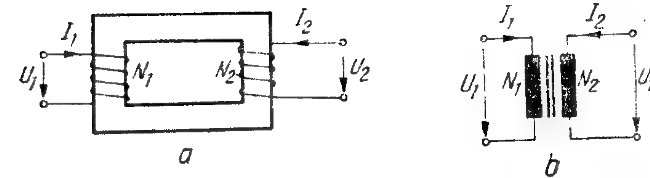


Fig. 7.1. Transformatorul:
a — principiu; *b* — reprezentare.

În cazul unui transformator ideal, la care se neglijează pierderile, notînd cu P_1 puterea în circuitul primar și cu P_2 puterea în circuitul secundar, se poate scrie:

$$P_1 = P_2 \qquad (7.1)$$

sau

$$I_1U_1 = I_2U_2, \qquad (7.2)$$

de unde:

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{I_1}{I_2}. \qquad (7.3)$$

Știind că ambele înfășurări sînt străbătute de același flux magnetic și considerînd lungimea tuturor spirelor egală, se poate afirma că în fiecare spiră se induce aceeași tensiune U_{sp}. Înfășurarea primară, care are N_1 spire, va avea la bornele sale o tensiune $U_1 = N_1 U_{sp}$, iar înfășurarea secundară, care are N_2 spire, va avea la bornele sale o tensiune $U_2 = N_2U_{sp}$. Reluînd relația (7.3), se poate scrie:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2U_{sp}}{N_1U_{sp}} = \frac{N_2}{N_1}. \qquad (7.4)$$

De aici rezultă că raportul intensităților curenților este invers proporțional cu raportul tensiunilor și că raportul tensiunilor este proporțional cu raportul numărului de spire.

La un transformator real aceste proprietăți se păstrează, cu o anumită aproximație, datorită unor fenomene care vor fi arătate în continuare.

A. TRANSFORMATOARE DE CURENT

La măsurarea intensităților unor curenți alternativi care depășesc 50 A, ajungînd pînă la zeci de mii de amperi, se folosesc ampermetre de 5 A sau de 1 A împreună cu transformatoare de curent (fig. 7.2).

1. FUNCȚIONARE

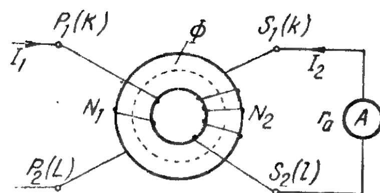


Fig. 7.2. Transformator de curent

În secundarul transformatorului de curent se montează ampermetre de 5 A sau de 1 A, sau circuite de curent ale altor aparate; toate acestea au o impedanță foarte mică. Din acest motiv, regimul normal de funcționare al transformatorului de curent este asemănător cu regimul de scurtcircuit al transformatoarelor de forță.

Fluxul magnetic al transformatorului este creat de curenții care trec prin cele două înfășurări. Fluxul magnetic creat de înfășurarea primară este proporțional cu intensitatea curentului I_1 și cu numărul de spire N_1. Fluxul magnetic creat de înfășurarea secundară este proporțional cu intensitatea curentului I_2 și cu numărul de spire N_2. Din însumarea celor două fluxuri, se obține un flux rezultant Φ.

La transformatoarele de curent, în funcție de valorile impedanței secundare Z_s și ale intensității curentului primar I_1, se disting următoarele regimuri de funcționare: *regim normal* și *regim de avarie.*

• **Regim normal:** $Z_s \leqslant Z_{sn}$ ($\cos\varphi \geqslant 0{,}8$) și $I_1 = (0{,}1 \ldots 1{,}2) I_{1n}$, Z_{sn} și I_{1n} fiind valorile nominale ale impedanței secundare și respectiv ale intensității curentului din primar. În aceste condiții, atît fluxul creat de înfășurarea primară, cît și fluxul creat de înfășurarea secundară, sînt mari, dar fiind de sens contrar ele se compensează astfel încît fluxul rezultant Φ este mic. În acest caz, transformatorul funcționează normal.

Fluxul primar și fluxul secundar fiind aproximativ egale, se poate scrie:

$$N_1 I_1 \cong N_2 I_2,$$

de unde:

$$\frac{I_1}{I_2} \cong \frac{N_2}{N_1}.$$

De obicei, $I_1 > I_2$ și ca urmare $N_1 < N_2$. În cazul intensităților curenților I_1 foarte mari, N_1 se poate reduce la o singură spiră

• **Regim de avarie:** $I_1 \neq 0$ și $Z_s = \infty$. Această situație poate să apară cînd secundarul rămîne deschis. Astfel $I_2 = 0$ și fluxul rezultant crește foarte mult, devenind egal cu fluxul creat de înfășurarea primară (avînd în vedere valoarea mare a intensității curentului I_1, acest flux este foarte mare). O dată cu creșterea fluxului rezultant, cresc foarte mult pierderile în fier, ceea ce face ca miezul magnetic să se încălzească, iar tensiunea la bornele înfășurării secundare crește și ea foarte mult, putînd deveni periculoasă pentru personalul de deservire. Pentru a evita regimul de avarie, este necesar ca transformatoarele de curent să aibă montate în secundar impedanțe mici (ampermetre sau circuite de curent ale altor aparate de măsurat ca: wattmetre, varmetre, contoare), iar în cazul în care acestea lipsesc, bornele înfășurării secundare să fie legate în scurtcircuit.

2. MARCAREA BORNELOR ȘI MONTAREA ÎN CIRCUIT

Pentru conectarea corectă a transformatorului de curent în circuitul de măsurare, bornele sale sînt marcate de regulă cu literele P_1, P_2 (sau K, L) pentru înfășurarea primară și S_1, S_2 (sau k, l) pentru înfășurarea secundară (v. fig. 7.2). La montare, borna P_1 (sau K) se leagă spre sursă ,iar S_1 (sau k) — la bornele polarizate ale aparatelor de măsurat (în cazul wattmetrelor, contoarelor etc.).

În figurile 7.3, *a* și 7.3, *b* este reperezentată conectarea transformatoarelor de curent în circuit.

3. ERORI, CLASE DE PRECIZIE

La utilizarea transformatoarelor de curent în măsurări, intervin unele erori specifice, cunoscute sub numele de *eroare de curent* și *eroare de unghi.*

• **Eroarea de curent** intervine ca urmare a diferențelor ce apar între valoarea intensității curentului I_1 măsurată prin intermediul transformatorului și valoarea reală a intensității aceluiași curent.

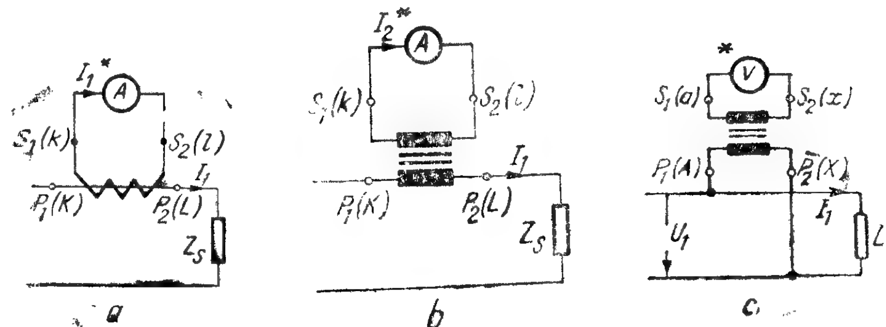


Fig. 7.3. Montarea transformatoarelor de măsurat:
a, b — transformatoare de curent; *c* — transformator de tensiune.

Pentru determinarea valorii intensității curentului măsurat prin intermediul unui transformator de curent, se utilizează *raportul nominal de transformare* între valorile nominale ale intensităților curenților I_{1n} și I_{2n}:

$$K_{1n} = \frac{I_{1n}}{I_{2n}}. \tag{7.5}$$

Raportul nominal este determinat prin construcție și este înscris pe carcasa transformatorului.

Valoarea intensității curentului măsurat se va calcula cu relația:

$$I_{1m} = I_2 \cdot K_{In}, \tag{7.6}$$

unde I_2 este intensitatea curentului citită la ampermetrul montat în secundarul transformatorului.

Trebuie definit însă și *raportul real de transformare*, adică raportul valorilor efective ale intensităților curenților I_1 și I_2 din primarul și respectiv secundarul transformatorului de curent. El se notează cu K_I:

$$K_I = \frac{I_1}{I_2}. \tag{7.7}$$

Acest raport nu este constant, el putînd fi influențat de valoarea intensității curentului I_1 și de condițiile de funcționare a transformatorului.

Eroarea de curent este rezultatul inegalității raportului de transformare nominal cu raportul de transformare real. Ea reprezintă *eroarea relativă cu care se măsoară intensitatea curentului din primarul transformatorului*:

$$\varepsilon_I = \frac{I_{1m} - I_1}{I_1} = \frac{K_{In}I_2 - K_I I_2}{K_I I_2} = \frac{K_{In} - K_I}{K_I}. \tag{7.8}$$

• **Eroarea de unghi** δ_I se definește ca fiind egală cu *unghiul de defazaj între curentul I_1 și curentul I_2, luat cu semn schimbat* (fig. 7.4, *a*). Prezența erorii de unghi arată că în cazurile reale defazajul între curenții I_1 și I_2 nu este de 180°, ca în cazul ideal.

Eroarea de unghi nu afectează indicațiile ampermetrelor, dar introduce erori în indicațiile wattmetrelor, contoarelor și ale altor aparate, la care indicația depinde de defazajul curenților din circuitele lor.

• **Clase de precizie.** În funcție de erorile de curent și de unghi se definesc clasele de precizie ale transformatoarelor de curent, con-

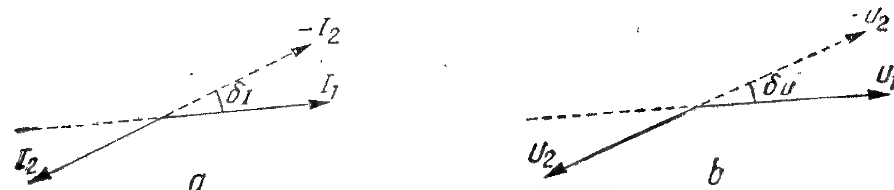


Fig. 7.4. Erori de unghi:
a — la transformatoare de curent; *b* — la transformatoare de tensiune.

form STAS 4324-70. Se construiesc *transformatoare de curent industriale*, avînd clasele de precizie 0,2; 0,5; 1 și 3 și *transformatoare de laborator*, avînd clasele de precizie 0,1; 0,05; 0,02 și 0,01.

4. TIPURI CONSTRUCTIVE

Există un număr foarte mare de tipuri și forme constructive de transformatoare de curent. Ele se construiesc fie ca transformatoare industriale, fie ca transformatoare de laborator.

În țara noastră, la uzina Electroputere din Craiova, se construiesc transformatoare de curent pentru tensiuni de la 0,5 la 400 kV și pentru intensități ale curenților primari nominali de la 5 la 5 000 A.

• **Transformatoarele industriale** se realizează ca transformatoare portative de *tip clește* (fig. 7.5, *c*) sau ca transformatoare fixe *tip suport* (fig. 7.5, *a*) cînd se montează pe console, și de *tip bară* (numite și transformatoare de trecere — fig. 7.5, *b*) cînd înfășurarea primară este realizată chiar de bara prin care trece curentul de măsurat. Transformatoarele destinate funcționării la tensiuni de peste 10 kV au de regulă două sau trei înfășurări secundare, una de măsurare iar celelalte pentru protecție.

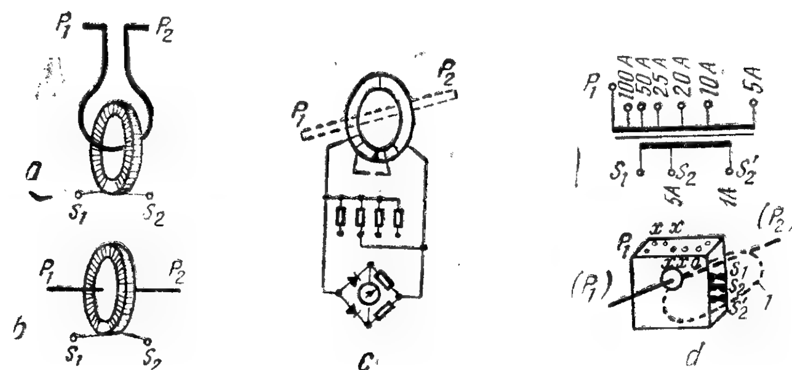


Fig. 7.5. Tipuri constructive de transformatoare de curent:
a — tip suport; *b* — tip bară; *c* — tip clește; *d* — de laborator.

• **Transformatoarele de laborator** au de obicei mai multe intervale de măsurare, obținute prin modificarea numărului de spire (fig. 7.5, *d*).

B. TRANSFORMATOARE DE TENSIUNE

Pentru măsurarea tensiunilor alternative ce depășesc 100 V, ajungînd la 400 kV, se folosesc voltmetre de 100 V sau 110 V împreună cu transformatoare de tensiune.

1. FUNCȚIONARE

În cazul transformatoarelor de tensiune (fig. 7.6) $U_1 > U_2$ și, conform relației (7.4), $N_1 > N_2$. De această dată, înfășurarea primară are un număr mare de spire.

În secundarul transformatorului de tensiune se conectează voltmetre de 100 V sau de 110 V, sau circuite de tensiune ale altor aparate (wattmetre, contoare etc.). Toate acestea prezintă o impedanță foarte mare, deci regimul de funcționare al transformatoarelor de tensiune este asemănător cu regimul de mers în gol al transformatoarelor de forță.

În cazul cînd circuitul secundar este deschis (în gol), intensitatea curentului absorbit de primar este I_{10}, necesară producerii fluxului magnetic Φ_0. Dacă în circuitul secundar se conectează o impedanță mare, cum sînt impedanțele circuitelor de tensiune ale aparatelor de măsurat, curentul secundar I_2, deși mic ca valoare, produce un flux de semn contrar fluxului creat de primar și fluxul total tinde să scadă. În acest caz, intensitatea curentului din primar va crește pînă la valoarea I_1, care restabilește echilibrul, astfel încît fluxul în miezul magnetic rămîne aproape constant ($\Phi \cong \Phi_0$).

În cazul transformatorului de tensiune, intensitățile curenților fiind mici și producînd căderi de tensiune neglijabile în înfășurări, se menține cu o bună aproximație relația de proporționalitate între tensiuni și numerele corespunzătoare de spire:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}.$$

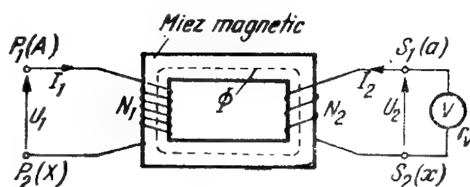


Fig. 7.6. Transformator de tensiune.

2. MARCAREA BORNELOR ȘI MONTAREA ÎN CIRCUIT

Pentru conectarea corectă a transformatoarelor de tensiune în circuitele de măsurare, bornele sînt marcate de regulă cu P_1, P_2 (sau *A*, *X*) pentru înfășurarea primară și cu S_1, S_2 (sau *a*, *x*) pentru înfășurarea secundară. În cazul transformatoarelor trifazate, bornele primare se notează cu *A*, *B*, *C* pentru începuturile înfășurărilor și cu *X*, *Y*, *Z* pentru sfîrșiturile înfășurărilor, iar pentru bornele secundare se notează cu *a*, *b*, *c* începuturile înfășurărilor și cu *x*, *y*, *z* sfîrșiturile înfășurărilor; punctul neutru se notează cu *N* în primar și cu *n* în secundar.

La conectarea transformatoarelor de tensiune în circuit, bornele P_1 (sau *A*, *B*, *C*) se leagă spre sursă, iar bornele S_1 (sau *a*, *b*, *c*) se leagă la bornele polarizate ale aparatelor de măsurat (în cazul wattmetrelor, contoarelor etc.), așa cum arată și figura 7.8, *c*.

3. ERORI, CLASE DE PRECIZIE

Ca și la utilizarea transformatoarelor de curent, și la utilizarea transformatoarelor de tensiune intervin erori specifice, cunoscute sub numele de *eroare de tensiune* și *eroare de unghi*.

• **Eroarea de tensiune** intervine datorită faptului că valoarea tensiunii măsurate prin intermediul transformatorului, U_{1m}, poate fi diferită de valoarea reală U_1 a tensiunii.

Pentru determinarea valorii tensiunii măsurate prin intermediul transformatorului se utilizează *raportul nominal de transformare*, între valorile nominale ale tensiunilor U_{1n} și U_{2n}:

$$K_{Un} = \frac{U_{1n}}{U_{2n}}. \tag{7.9}$$

Raportul nominal de transformare este determinat prin construcție și este înscris pe transformator.

Valoarea tensiunii măsurate se calculează cu relația:

$$U_{1m} = U_2 K_{Un}, \tag{7.10}$$

unde U_2 este tensiunea citită la voltmetrul montat în secundarul transformatorului.

Raportul valorilor efective ale tensiunilor U_1 și U_2, din primarul și respectiv secundarul transformatorului de tensiune, se numește *raport real de transformare* și se notează cu K_U:

$$K_U = \frac{U_1}{U_2}. \tag{7.11}$$

Acest raport nu este constant, el putînd fi influențat de condițiile de funcționare a transformatorului.

Neegalitatea raportului de transformare nominal cu raportul de transformare real conduce la apariţia de erori. *Eroarea relativă cu care se măsoară tensiunea din primarul transformatorului* se numeşte eroare de tensiune şi este dată de relaţia:

$$\varepsilon_U = \frac{U_{1m} - U_1}{U_1} = \frac{K_{Un}U_2 - K_U U_2}{K_U U_2} = \frac{K_{Un} - K_U}{K_U}. \qquad (7.12)$$

• **Eroarea de unghi** este egală cu *unghiul de defazaj între tensiunea U_1 şi tensiunea U_2 luată cu semn schimbat* (fig. 7.4, *b*). Eroarea de unghi indică faptul că în cazurile reale defazajul dintre tensiunile U_1 şi U_2 nu este de 180°, ca în cazul ideal. Eroarea de unghi nu afectează indicaţiile voltmetrelor, dar introduce erori în indicaţiile wattmetrelor, contoarelor, fazmetrelor etc.

• **Clase de precizie.** În funcţie de erorile de tensiune şi de unghi se definesc clasele de precizie ale transformatoarelor de tensiune, conform STAS 4323-70. Se construiesc transformatoare de tensiune industriale, avînd clasele 0,2; 0,5; 1 şi 3, şi transformatoare de laborator avînd clasele 0,1; 0,05; 0,02 şi 0,01.

4. TIPURI CONSTRUCTIVE

Transformatoarele de tensiune se realizează ca transformatoare industriale sau de laborator.

În ţara noastră, la uzina Electroputere din Craiova, se construiesc transformatoare de tensiune cu tensiuni nominale pînă la 400 kV.

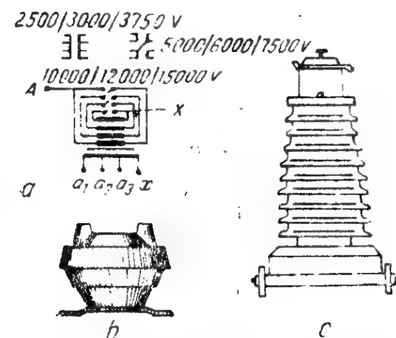


Fig. 7.7. Transformatoare de tensiune: *a* — schema unui transformator de laborator; *b* — transformator izolat în răşini; *c* — transformator izolat în porţelan.

• **Tipurile industriale de transformatoare de tensiune** pot fi *de interior* sau *de exterior*, monofazate sau trifazate, cu izolaţie de ulei, porţelan, răşini sau aer (fig. 7.7). Se construiesc de obicei cu două sau trei înfăşurări secundare, una de măsurare şi celelalte de protecţie.

• **Transformatoarele de laborator** au mai multe intervale de măsurare, care se comută prin modificarea conexiunilor unor prize din primar sau secundar.

PROBLEME ŞI ÎNTREBĂRI RECAPITULATIVE

1. Care sînt avantajele utilizării transformatoarelor de măsurat?
2. Cît este numărul de spire din primarul unui transformator de tip bară?
3. Care sînt pericolele ce pot interveni în cazul unui transformator de curent care rămîne cu secundarul deschis?
4. La măsurarea intensităţii unui curent prin intermediul unui transformator de curent, ampermetrul din secundar indică 2,75 A, iar $K_{I_n} = 80$. Cît este intensitatea curentului măsurat?
5. La măsurarea unei tensiuni prin intermediul unui transformator de tensiune voltmetrul din secundar indică 75 V, iar $K_{U_n} = 100$. Cît este valoarea tensiunii măsurate?
6. La măsurarea unei puteri prin intermediul unor transformatoare de tensiune şi de curent (fig. 7.3, *c*), wattmetrul montat în cele două secundare indică 200 W. Dacă $K_{U_n} = 100$ şi $K_{I_n} = 80$, cît este puterea măsurată?
7. De ce eroarea de unghi nu afectează indicaţiile ampermetrelor şi voltmetrelor?

Capitolul 8

MĂSURAREA PUTERII ŞI ENERGIEI ELECTRICE ÎN CIRCUITE DE CURENT ALTERNATIV TRIFAZATE

Pentru transmiterea de puteri mari în curent alternativ, se folosesc exclusiv circuite trifazate. Un circuit trifazat poate fi considerat ca suprapunerea a trei circuite monofazate (fig. 8.1) la care cele trei conductoare de întoarcere au fost înlocuite cu unul singur *(circuit trifazat cu conductor neutru)* sau au fost suprimate *(circuit trifazat fără conductor neutru)*. Suprimarea conductorului de întoarcere este posibilă deoarece suma valorilor instantanee ale intensităţilor celor trei curenţi (în regim simetric echilibrat) este nulă.

Un circuit trifazat (fig. 8.2) este caracterizat de:

— *intensităţile curenţilor de linie* I_1, I_2, I_3 care circulă prin cele trei conductoare ale liniei;

— *tensiunile de linie* U_{12}, U_{23}, U_{31}, între câte două dintre cele trei conductoare ale liniei;

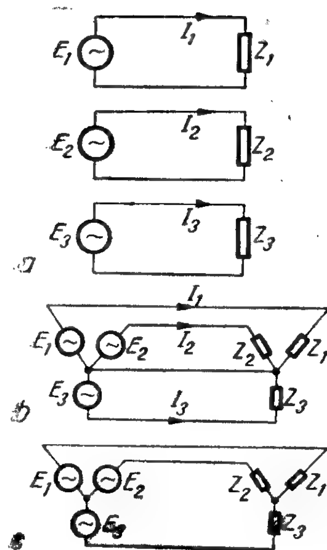


Fig. 8.1. Principiul transmiterii energiei: a — circuite monofazate separate; b — circuite trifazate.

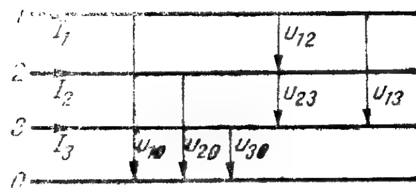


Fig. 8.2. Tensiunile şi curenţii într-un circuit trifazat.

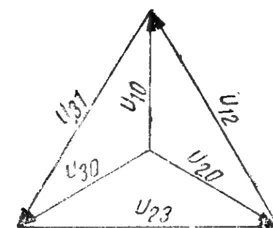


Fig. 8.3. Diagrama fazorială a tensiunilor de linie şi de fază.

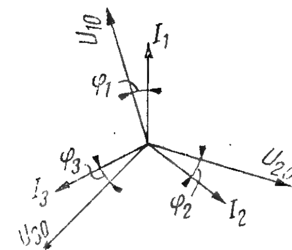


Fig. 8.4. Diagrama fazorială a curenţilor şi tensiunilor într-un circuit trifazat.

— *tensiunile de fază* U_{10}, U_{20}, U_{30}, între fiecare dintre cele trei conductoare şi conductorul neutru.

În cazul unui circuit trifazat simetric, tensiunile sînt egale şi defazate între ele cu cîte 120°. Din diagrama fazorială a tensiunilor (fig. 8.3), se poate deduce că la un circuit trifazat simetric tensiunile de linie sînt de $\sqrt{3}$ ori mai mari decît tensiunile de fază.

Un circuit trifazat simetric este şi echilibrat dacă, pe lîngă egalitatea tensiunilor, sînt egale şi cele trei intensităţi ale curenţilor I_1, I_2, I_3 şi, de asemenea, şi cele trei defazaje φ_1, φ_2, φ_3 (fig. 8.4).

A. MĂSURAREA PUTERII ACTIVE ÎN CIRCUITE TRIFAZATE

Puterea activă transmisă pe o linie trifazată se poate considera ca fiind egală cu suma puterilor active pe cele trei faze, deci se poate scrie:

$$P = P_1 + P_2 + P_3 \qquad (8.1)$$

sau

$$P = U_{10} I_1 \cos \widehat{U_{10} I_1} + U_{20} I_2 \cos \widehat{U_{20} I_2} + U_{30} I_3 \cos \widehat{U_{30} I_3}. \qquad (8.2)$$

Pentru măsurarea puterii active se folosesc wattmetre electrodinamice sau ferodinamice, în diferite montaje.

1. MĂSURAREA PUTERII ACTIVE ÎN CIRCUITE TRIFAZATE CU CONDUCTOR NEUTRU

• **În cazul general, al circuitelor trifazate nesimetrice şi neechilibrate, cu conductor neutru,** puterea activă se măsoară cu trei wattmetre, **montate cu bobinele** de curent pe fiecare fază şi cu bobinele

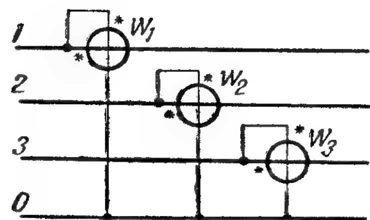


Fig. 8.5. Măsurarea puterii active în circuite trifazate cu conductor neutru.

de tensiune legate între cîte o fază și conductorul neutru (fig. 8.5). Cele trei wattmetre, W_1, W_2 și W_3 vor indica :

$$P_{W1} = U_{10} I_1 \cos \widehat{U_{10} I_1} = P_1;$$

$$P_{W2} = U_{20} I_2 \cos \widehat{U_{20} I_2} = P_2; \quad (8.3)$$

$$P_{W3} = U_{30} I_3 \cos \widehat{U_{30} I_3} = P_3.$$

Conform relațiilor (8.3), fiecare dintre cele trei wattmetre măsoară puterea activă consumată pe faza respectivă. Puterea activă totală va fi egală cu suma puterilor indicate de cele trei wattmetre :

$$P = P_{W1} + P_{W2} + P_{W3} = P_1 + P_2 + P_3. \quad (8.4)$$

○ **Observație.** Pentru măsurarea directă a puterii trifazate se pot folosi și *wattmetre trifazate*, cu trei dispozitive de măsurat, la care cele trei bobine de tensiune sînt fixate pe același ax, asupra căruia acționează toate cele trei cupluri : aceste cupluri se însumează, astfel că indicațiile sînt proporționale cu puterea trifazată.

• **În circuitele simetrice și echilibrate** $U_{10} = U_{20} = U_{30}$, $I_1 = I_2 = I_3$, $\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi_3$ și ca urmare $P_1 = P_2 = P_3$. În acest caz puterea activă se poate măsura cu un singur wattmetru montat cu bobina de curent pe una dintre faze și cu bobina de tensiune între faza respectivă și conductorul neutru. Puterea activă trifazată va fi :

$$P = 3P_W = 3P_f, \quad (8.4')$$

unde P_W este puterea indicată de wattmetru, iar P_f — puterea activă pe o fază.

2. MĂSURAREA PUTERII ACTIVE ÎN CIRCUITE TRIFAZATE FĂRĂ CONDUCTOR NEUTRU

a. Măsurarea puterii active trifazate cu trei wattmetre

• **În cazul în care circuitul trifazat este fără conductor neutru, dar punctul neutru al consumatorului este accesibil,** măsurarea puterii active se poate face cu trei wattmetre conectate fiecare cu bobină de curent pe cîte o fază și cu bobina de tensiune între faza respectiva

și punctul neutru al consumatorului (fig. 8.6). Situația este asemănătoare cu cea din cazul rețelelor cu conductor neutru, fiecare wattmetru măsurînd puterea activă pe cîte o fază. Puterea activă trifazată va fi egală cu suma puterilor indicate de cele trei wattmetre :

$$P = P_{W1} + P_{W2} + P_{W3} = P_1 + P_2 + P_3.$$

• **Dacă punctul neutru al consumatorului nu este accesibil,** bobinele de tensiune se pot conecta la un punct comun N al cărui potențial poate fi oarecare (fig. 8.7). În această situație puterile P_{W1}, P_{W2}, P_{W3} indicate de cele trei wattmetre nu mai sînt egale cu puterile P_1, P_2 și P_3 de pe cele trei faze, dar se poate demonstra că suma algebrică a puterilor indicate de cele trei wattmetre este egală cu puterea activă trifazată, adică :

$$P_{W1} + P_{W2} + P_{W3} = P_1 + P_2 + P_3 = P. \quad (8.5)$$

Demonstrarea acestei proprietăți se bazează pe faptul că în orice moment $I_1 + I_2 + I_3 = 0$, deci o tensiune comună ΔU adăugată prin schimbarea potențialului punctului comun N rezultă ca factor comun, de forma $\Delta U(I_1 + I_2 + I_3) = 0$. În consecință, puterea totală nu se schimbă.

În funcție de caracterul consumatorului, unul dintre wattmetre poate să dea indicații negative dacă unghiul dintre tensiunea aplicată bobinei de tensiune și curentul ce trece prin bobina de curent este mai mare de 90°. În acest caz, dacă wattmetrul nu este prevăzut cu un comutator special pentru inversarea sensului curentului prin bobina de tensiune, se inversează legăturile la bornele acestei bobine și în calculul puterii trifazate indicația wattmetrului respectiv se ia cu semnul minus.

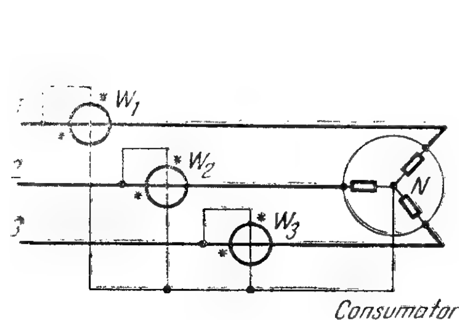


Fig. 8.6. Măsurarea puterii active în circuite trifazate fără conductor neutru, cu punctul neutru al consumatorului accesibil.

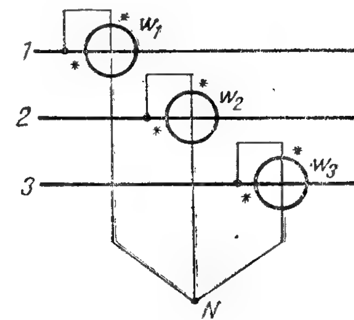


Fig. 8.7. Măsurarea puterii active în circuite trifazate fără conductor neutru, cu trei wattmetre.

b. Măsurarea puterii active trifazate cu două wattmetre

Aşa cum s-a arătat, în cazul în care circuitul trifazat este fără conductor neutru bobinele de tensiune se pot lega la un punct comun N oarecare. Dacă punctul comun se plasează pe una dintre cele trei faze, devenită în acest caz fază de referinţă, wattmetrul de pe faza respectivă va avea indicaţia nulă, deoarece bobinei sale de tensiune nu i se aplică nici o diferenţă de potenţial. În acest caz, suma algebrică a indicaţiilor celorlalte două wattmetre va fi egală cu puterea activă trifazată. Rezultă că se poate renunţa la un wattmetru şi puterea activă a unui circuit trifazat se poate măsura numai cu două wattmetre, avînd fiecare bobina de curent montată pe cîte o fază, iar bobina de tensiune — montată între faza respectivă şi faza de referinţă.

În funcţie de faza de referinţă aleasă, există trei modalităţi de montare a celor două wattmetre:

— dacă faza *3* este aleasă ca fază de referinţă (fig. 8.8, *a*), se obţine:

$$P = P_{W1} + P_{W2} = U_{13}I_1\cos \widehat{U_{13}I_1} + U_{23}I_2\cos \widehat{U_{23}I_2}; \quad (8.6)$$

— dacă faza *2* este aleasă ca fază de referinţă (fig. 8.8, *b*), se obţine:

$$P = P_{W1} + P_{W3} = U_{12}I_1\cos \widehat{U_{12}I_1} + U_{32}I_3\cos \widehat{U_{32}I_3}; \quad (8.7)$$

— dacă faza *1* este aleasă ca fază de referinţă (fig. 8.8, *c*), se obţine:

$$P = P_{W2} + P_{W3} = U_{21}I_2\cos \widehat{U_{21}I_2} + U_{31}I_3\cos \widehat{U_{31}I_3}. \quad (8.8)$$

În expresiile de mai sus s-au notat cu P_{W1}, P_{W2}, P_{W3} indicaţiile wattmetrelor W_1, W_2, W_3.

În cazul particular al măsurării puterii active cu două wattmetre în circuite simetrice şi echilibrate, în care $U_{12} = U_{13} = U_{23} = U$; $I_1 = I_2 = I_3 = I$; $\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi_3 = \varphi$ (fig. 8.9), dacă se consideră faza *3* ca fază de referinţă, unghiurile dintre tensiunile aplicate bobinelor de tensiune şi curenţii prin bobinele de curent sînt: $\widehat{U_{13}I_1} = 30° - \varphi$ şi $\widehat{U_{23}I_2} = 30° + \varphi$. Înlocuindu-se aceste valori în expresia (8.6), se obţine:

$$P = UI\cos(30° - \varphi) + UI\cos(30° + \varphi) = UI \cdot 2\cos 30° \cos\varphi = \sqrt{3}UI\cos\varphi, \quad (8.9)$$

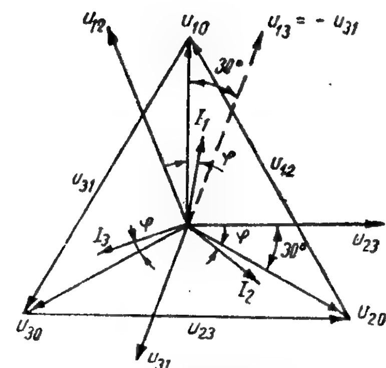


Fig. 8.9. Diagrama tensiunilor şi curenţilor într-un circuit trifazat simetric şi echilibrat.

adică tocmai puterea activă trifazată $\left(\cos 30° = \frac{\sqrt{3}}{2}\right.$ şi tensiunea de linie este de $\sqrt{3}$ ori mai mare decît tensiunea de fază$\left.\right)$.

Măsurarea puterii active trifazate cu schema celor două wattmetre se poate realiza şi cu un singur wattmetru conectat succesiv, fără a întrerupe circuitul, pe două dintre fazele circuitului trifazat, cu ajutorul unui comutator wattmetric special.

○ **Observaţie.** Pentru o măsurare mai comodă se construiesc wattmetre trifazate, care constau din două dispozitive de măsurat montate conform schemei celor două wattmetre. Bobinele de tensiune ale celor două dispozitive de măsurat sînt fixate pe acelaşi ax, astfel încît cuplurile lor active se însumează.

Schema de măsurare cu două wattmetre este cea mai utilizată pentru măsurarea puterii active trifazate în circuite fără conductor neutru, deoarece prezintă avantajul că poate fi utilizată şi în circuite nesimetrice şi neechilibrate şi necesită numai două aparate de măsurat.

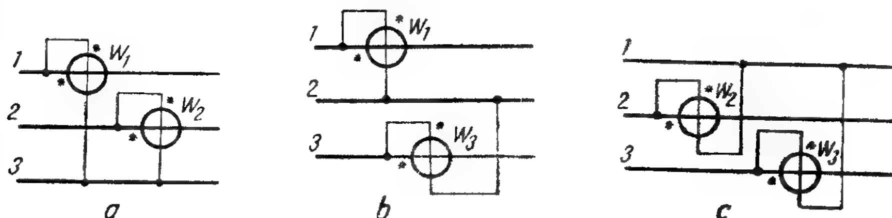


Fig. 8.8. Măsurarea puterii active în circuite trifazate cu două wattmetre: *a* — faza *3* ca referinţă; *b* — faza *2* ca referinţă; *c* — faza *1* ca referinţă.

c. Măsurarea puterii active trifazate cu un wattmetru

Pentru măsurarea puterii active trifazate *în circuite simetrice şi echilibrate fără conductor neutru*, se poate folosi un singur wattmetru montat cu bobina de curent pe una dintre faze şi cu bobina de tensiune între faza respectivă şi un punct neutru N creat artificial cu ajutorul a două rezistenţe adiţionale R_2 şi R_3 egale cu rezistenţa cir-

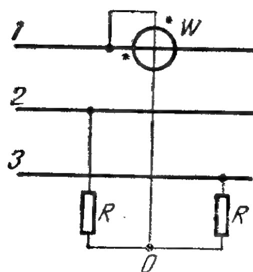


Fig. 8.10. Măsurarea puterii active în circuite trifazate fără conductor neutru, cu un wattmetru.

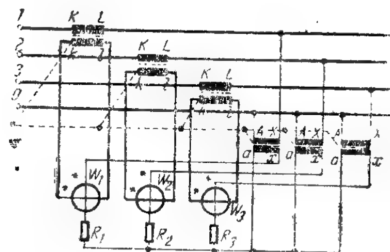


Fig. 8.11. Măsurarea puterii active în circuite trifazate cu conductor neutru prin intermediul transformatoarelor de măsurat.

cuitului de tensiune al wattmetrului (fig. 8.10). Valoarea puterii active trifazate P se obține înmulțind cu 3 indicația P_W wattmetrului ($P = 3P_W$). Dacă wattmetrul este destinat să funcționeze permanent în circuite trifazate echilibrate, scara sa se poate grada direct în valori ale puterii active trifazate.

3. MĂSURAREA PUTERII ACTIVE TRIFAZATE PRIN INTERMEDIUL TRANSFORMATOARELOR DE MĂSURAT

În circuitele trifazate în care tensiunile și curenții depășesc valorile nominale ale wattmetrelor, măsurarea puterii se efectuează prin intermediul **transformatoarelor de măsurat.** În figura 8.11 este reprezentată schema de montare a trei wattmetre prin intermediul transformatoarelor de măsurat, pentru un circuit trifazat cu conductor neutru.

Pentru protecția wattmetrelor și a operatorilor, cîte un capăt al tuturor înfășurărilor secundare (atît la transformatoarele de tensiune, cît și la cele de curent) se leagă la pămînt.

Wattmetrele conectate prin intermediul transformatoarelor de măsurat în instalațiile fixe sînt gradate direct în puterea de măsurat, ținînd seama de rapoartele de transformare respective, deci valoarea citită nu mai trebuie înmulțită cu K_{Un} și K_{In}. Se întîlnesc frecvent wattmetre gradate în kilowați sau megawați, purtînd denumirea de kilowattmetre sau megawattmetre.

B. MĂSURAREA PUTERII REACTIVE ÎN CIRCUITE TRIFAZATE

Puterea reactivă este dată de relația:

$$Q = UI \sin \varphi. \tag{8.10}$$

În circuite trifazate, puterea reactivă totală (trifazată) este egală cu suma puterilor reactive de pe cele trei faze:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 = U_{10} I_1 \sin \widehat{U_{10} I_1} + U_{20} I_2 \sin \widehat{U_{20} I_2} + U_{30} I_3 \sin \widehat{U_{30} I_3}. \tag{8.11}$$

Măsurarea puterii reactive trifazate se poate face direct *cu varmetre* sau *cu wattmetre.*

1. MĂSURAREA PUTERII REACTIVE TRIFAZATE CU VARMETRE

Varmetrele sînt *aparate electrodinamice sau ferodinamice în care se creează un defazaj de 90° între curentul prin bobina mobilă și tensiunea aplicată acesteia, montîndu-i în serie o bobină sau un condensator în loc de rezistență adițională.* În acest caz, aparatele vor indica direct puterea reactivă.

Măsurarea puterii reactive cu varmetre se realizează cu aceleași montaje ca în cazul măsurării puterii active cu wattmetre. Ele se folosesc mai des în circuite monofazate și mai rar în cele trifazate.

2. MĂSURAREA PUTERII REACTIVE TRIFAZATE CU WATTMETRE

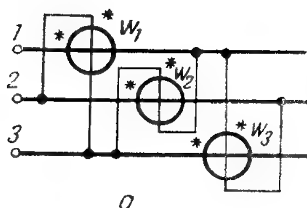
Puterea reactivă se poate măsura direct și cu wattmetre, dacă prin bobina de curent trece curentul I, iar bobinei de tensiune i se aplică o tensiune auxiliară U', proporțională și de aceeași frecvență cu tensiunea U de măsurat, dar defazată cu 90° în urma acesteia. În acest caz, între curentul I și tensiunea auxiliară U' există un defazaj de 90° − φ și indicația P_W a wattmetrului va fi:

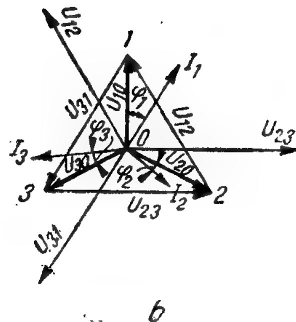
$$P_W = U'I \cos (90° - \varphi) = U'I \sin \varphi = \frac{U'}{U} UI \sin \varphi = \frac{U'}{U} Q. \tag{8.12}$$

de unde:

$$Q = \frac{U}{U'} P_W. \tag{8.13}$$

Fig. 8.12. Măsurarea puterii reactive în circuite trifazate, cu trei wattmetre.





În circuitele trifazate simetrice se poate aplica această metodă, deoarece tensiunea dintre două faze este defazată cu 90° în urma tensiunii de pe cealaltă fază (fig. 8.12, *b*). Astfel, tensiunea U_{23} este defazată cu 90° în urma tensiunii U_{10}, tensiunea U_{31} este defazată cu 90° în urma tensiunii U_{20} şi tensiunea U_{12} este defazată cu 90° în urma tensiunii U_{30}.

● Folosind tensiunile între faze ca tensiuni auxiliare, se poate măsura puterea reactivă trifazată **cu trei wattmetre** montate cu bobinele de curent pe cîte o fază şi bobinele de tensiune legate între celelalte două faze (fig. 8.12, *a*). Avînd în vedere că raportul între tensiunea auxiliară (tensiunea între faze) şi tensiunea de fază este $U'/U = \sqrt{3}$, cele trei wattmetre, W_1, W_2, W_3 vor indica:

$$P_{W1} = U_{23}I_1 \cos \widehat{U_{23}I_1} = \frac{U_{23}}{U_{10}} U_{10}I_1 \sin \widehat{U_{10}I_1} = \sqrt{3}Q_1; \quad (8.14)$$

$$P_{W2} = U_{31}I_2 \cos \widehat{U_{31}I_2} = \frac{U_{31}}{U_{20}} U_{20}I_2 \sin \widehat{U_{20}I_2} = \sqrt{3}Q_2; \quad (8.15)$$

$$P_{W3} = U_{12}I_3 \cos \widehat{U_{12}I_3} = \frac{U_{12}}{U_{30}} U_{30}I_3 \sin \widehat{U_{30}I_3} = \sqrt{3}Q_3. \quad (8.16)$$

Suma puterilor măsurate de cele trei wattmetre va fi:

$$P_{W1} + P_{W2} + P_{W3} = \sqrt{3}(Q_1 + Q_2 + Q_3) = \sqrt{3}Q, \quad (8.17)$$

de unde:

$$Q = \frac{1}{\sqrt{3}}(P_{W1} + P_{W2} + P_{W3}). \quad (8.18)$$

● În circuite trifazate simetrice puterea reactivă se poate măsura şi numai **cu două wattmetre**, la fel ca în cazul puterii active. Luînd faza a treia ca fază de referinţă, se poate scrie:

$$Q = U_{13}I_1 \sin \widehat{U_{13}I_1} + U_{23}I_2 \sin \widehat{U_{23}I_2}. \quad (8.19)$$

Tensiunile auxiliare defazate cu 90° în urma tensiunilor U_{13} şi U_{23} sînt U_{20} şi, respectiv, $-U_{10}$ (fig. 8.13, *b*). Montînd cele două wattmetre cu bobinele de curent pe fazele *1* şi *2* şi aplicînd bobinelor de tensiune ale wattmetrelor tensiunile U_{20} şi $-U_{10}$ (fig. 8.13, *a*), acestea vor indica:

$$P_{W1} = U_{20}I_1 \cos \widehat{U_{20}I_1} = \frac{U_{20}}{U_{13}} U_{13}I_1 \sin \widehat{U_{13}I_1}; \quad (8.20)$$

$$P_{W2} = U_{10}I_2 \cos (-\widehat{U_{10}I_2}) = \frac{U_{10}}{U_{23}} U_{23}I_2 \sin \widehat{U_{23}I_2}. \quad (8.21)$$

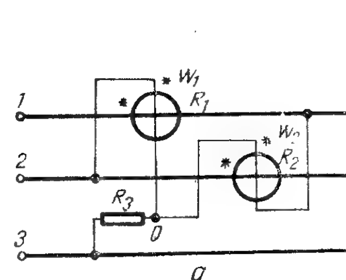
Ştiind că raportul între tensiunea de fază şi tensiunea dintre faze este $\frac{1}{\sqrt{3}}$, suma puterilor indicate de cele două wattmetre va fi:

$$P_{W1} + P_{W2} = \frac{1}{\sqrt{3}}Q, \quad (8.22)$$

de unde:

$$Q = \sqrt{3}(P_{W1} + P_{W2}). \quad (8.23)$$

Pentru a putea aplica bobinelor de tensiune ale wattmetrelor tensiunile de fază U_{20} şi $-U_{10}$, se creează un punct neutru artificial *0* cu ajutorul unei rezistenţe R_3 de valoare egală cu rezistenţa circuitelor de tensiune ale celor două wattmetre.



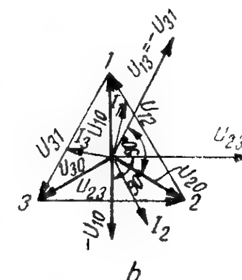


Fig. 8.13. Măsurarea puterii reactive în circuite trifazate cu două wattmetre.

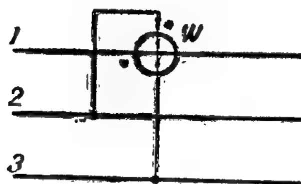


Fig. 8.14. Măsurarea puterii reactive în circuite trifazate, cu un wattmetru.

● Dacă circuitul trifazat simetric este şi echilibrat, puterea reactivă se poate măsura şi numai **cu un singur wattmetru** (fig. 8.14). Dacă indicaţia wattmetrului este P_W, puterea reactivă trifazată va fi:

$$Q = \frac{1}{\sqrt{3}} 3P_W = \sqrt{3}P_W. \tag{8.24}$$

C. MĂSURAREA ENERGIEI ELECTRICE ÎN CIRCUITE TRIFAZATE

1. MĂSURAREA ENERGIEI ACTIVE

Măsurarea energiei active în circuitele trifazate se poate efectua cu *contoare de inducţie monofazate* sau *trifazate*. În primul caz, utilizat mai rar, se folosesc două sau trei contoare monofazate montate după schema celor două wattmetre sau după schema celor trei wattmetre de la măsurarea puterii active. Energia totală se obţine prin însumarea energiilor înregistrate de fiecare contor separat.

Contoarele trifazate conţin în acelaşi aparat două sau trei sisteme active, avînd fiecare cîte un electromagnet de curent şi cîte unul de tensiune, ale căror cupluri active acţionează asupra aceluiaşi ax, astfel încît cîmpul activ total este proporţional cu puterea activă trifazată, iar contorul înregistrează energia activă totală, trifazată.

În circuitele trifazate fără conductor neutru se utilizează contoare cu două sisteme active, montate după metoda celor două wattmetre, iar *în circuitele cu conductor neutru* se utilizează de obicei contoare trifazate cu trei sisteme active montate după schema celor trei wattmetre.

2. MĂSURAREA ENERGIEI REACTIVE

Pentru măsurarea energiei reactive se utilizează contoare de energie reactivă funcţionînd, ca şi varmetrele trifazate, cu ajutorul unor tensiuni auxiliare.

În cazul cînd curentul sau tensiunea de utilizare depăşesc valorile nominale pentru care sînt construite contoarele, acestea se montează în circuitele secundare ale transformatoarelor de măsurat.

În ţara noastră se construiesc contoare de inducţie monofazate şi trifazate la „Întreprinderea de Aparate Electrice de Măsurat" din Timişoara.

PROBLEME ŞI ÎNTREBĂRI RECAPITULATIVE

1. Care este cel mai avantajos montaj pentru măsurarea puterii active trifazate într-un circuit simetric şi echilibrat? Dar într-un circuit neechilibrat?
2. Cu care dintre montajele studiate se pot determina puterile active pe fiecare fază în parte?
3. Într-un circuit trifazat fără conductor neutru este posibil să se cunoască puterile active pe fiecare fază?
4. Într-un circuit trifazat simetric şi echilibrat, un wattmetru montat cu bobina de curent pe faza *1* şi cu bobina de tensiune între fazele *2* şi *3* indică o putere de 700 W. Cît este puterea reactivă trifazată?
5. Ce măsură de protecţie se prevede la măsurarea puterilor prin intermediul transformatoarelor de măsurat?

Capitolul 9

MĂSURAREA PUTERII ELECTRICE ACTIVE ÎN CIRCUITE ELECTRONICE

Măsurarea puterii active în circuite electronice prezintă unele particularități, cum ar fi :

— funcționarea circuitelor electronice într-o bandă largă de frecvențe (0 — gigaherți) ;

— sarcina în care se consumă puterea electrică este de obicei o impedanță, ea prezentînd pe lîngă rezistență și o reactanță ;

— puterile ce urmează să se măsoare au o gamă largă de valori (de la microwați la kilowați).

Aparatele și metodele utilizate la măsurarea puterilor în circuitele electrice nu mai sînt suficiente. După cum se știe, wattmetrele electrodinamice și ferodinamice nu funcționează corect decît pînă la cîteva sute de herți, iar sensibilitatea lor nu permite măsurarea puterilor foarte mici. Din aceste motive, la măsurarea puterii în circuitele electronice se folosesc alte tipuri de aparate și metode de măsurare, cum sînt :

— măsurarea tensiunii sau intensității curentului pe o rezistență de valoare cunoscută *(metoda sarcinii artificiale, wattmetrul de ieșire)*

— transformarea energiei electromagnetice în alte forme de energie măsurabilă *(metoda fotometrică, metode calorimetrice)*.

A. DETERMINAREA PUTERII PRIN MĂSURAREA TENSIUNII SAU INTENSITĂȚII CURENTULUI PE O REZISTENȚĂ DE VALOARE CUNOSCUTĂ

1. METODA SARCINII ARTIFICIALE

Metoda sarcinii artificiale este o *metodă indirectă* și se bazează pe relațiile ce definesc puterea electrică consumată de o rezistență :

$$P = UI = I^2R = \frac{U^2}{R}. \qquad (9.1)$$

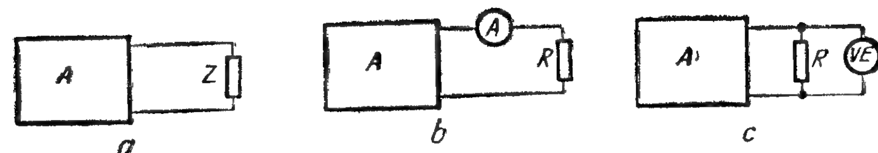


Fig. 9.1. Măsurarea puterii la ieșirea unui amplificator prin metoda sarcinii artificiale

Deoarece sarcinile în care se consumă puterea au de obicei și un caracter reactiv, la măsurarea puterii prin această metodă se înlocuiește sarcina reală (fig. 9.1, *a*) cu o sarcină artificială rezistivă, care are aceeași valoare ca și partea reală a impedanței de sarcină. În aceste condiții, se poate măsura intensitatea curentului ce trece prin sarcina artificială cu un ampermetru cu termocuplu, care funcționează pînă la sute de megaherți (fig. 9.1, *b*) sau căderea de tensiune la bornele sarcinii artificiale — cu un voltmetru electronic (fig. 9.1, *c*), pentru ca apoi să se calculeze puterea cu una dintre relațiile (9.1).

Metoda sarcinii artificiale se utilizează la măsurarea puterii de ieșire a amplificatoarelor de putere, la măsurarea puterii de ieșire a radioreceptoarelor sau televizoarelor, la măsurarea puterii debitate de emițătoare în antene etc.

2. WATTMETRUL DE IEȘIRE

Așa cum s-a arătat, puterea se poate determina indirect măsurînd cu un voltmetru tensiunea la bornele unei rezistențe de valoare cunoscută și aplicînd relația :

$$P = \frac{U^2}{R}.$$

Dacă rezistența R este constantă, atunci voltmetrul poate fi etalonat direct în wați, obținîndu-se un aparat care măsoară direct puterea, deci un wattmetru. Acest aparat este foarte simplu, dar are următoarele dezavantaje :

— prezintă o singură impedanță de intrare, deci nu poate fi utilizat pentru orice sarcină ;

— prezintă o singură sensibilitate, deci nu poate măsura puteri de diferite valori.

Se pot realiza însă și aparate mai complexe, cunoscute sub denumirea de *wattmetre de ieșire*, care pot avea mai multe intervale de măsurare și pot prezenta diferite impedanțe de intrare.

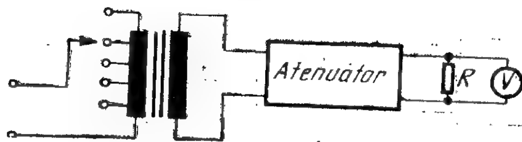


Fig. 9.2. Wattmetru de ieşire cu atenuator şi transformator de adaptare.

• **Un wattmetru de ieşire cu mai multe intervale de măsurare** se poate realiza introducîndu-se înaintea ansamblului rezistenţă-voltmetru un *atenuator în trepte* (fig. 9.2). Dacă atenuatorul este bine calculat, impedanţa de intrare rămîne mereu aceeaşi.

• **Pentru a se obţine diferite impedanţe de intrare,** se pot folosi fie transformatoare, fie cuadripoli de adaptare rezistivi.

La wattmetrele de ieşire cu transformator (fig. 9.2), dacă se notează cu Z_1 impedanţa de intrare $\left(Z_1 = \frac{U_1}{I_1}\right)$, cu Z_2 impedanţa de sarcină $\left(Z_2 = \frac{U_2}{I_2}\right)$ şi cu n raportul de transformare $\left(n = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1}\right)$, în cazul unui transformator ideal se poate scrie:

$$Z_1 = n^2 Z_2. \tag{9.2}$$

Relaţia (9.2) arată că dacă se variază raportul de transformare (alegînd diferite prize pe înfăşurarea primară) se pot obţine diferite impedanţe de intrare.

În cazul wattmetrelor de ieşire cu cuadripoli rezistivi de adaptare se pot folosi scheme ca cele prezentate în figura 9.3. Dacă rezistenţele care formează cuadripolul se aleg în mod convenabil, rezistenţa de intrare R_i poate lua diferite valori, în timp ce la ieşirea cuadripolului rezistenţa rămîne constantă. În acest mod, se poate realiza un wattmetru cu mai multe rezistenţe de intrare utilizînd o serie de cuadripoli convenabil calculaţi. Acest tip de wattmetru, folosind numai rezistoare, poate lucra într-o bandă mai largă de frecvenţe decît cel cu transformator.

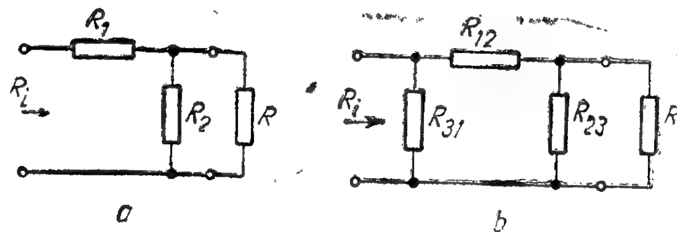


Fig. 9.3. Cuadripoli rezistivi de adaptare: *a* — cuadripol în Γ; *b* — cuadripol în π.

Wattmetrul de ieşire se conectează în locul impedanţei de sarcină, impedanţa lui de intrare îndeplinind rolul unei sarcini artificiale.

Un exemplu de wattmetru de ieşire este aparatul tip N 300 C care are impedanţa de intrare variabilă între 2,5 Ω şi 20 kΩ în 44 de trepte, funcţionează în banda de frecvenţă de la 20 Hz la 15 kHz şi măsoară puteri între 15 mW şi 15 W.

B. DETERMINAREA PUTERII PRIN TRANSFORMAREA ENERGIEI ELECTROMAGNETICE ÎN ALTE FORME DE ENERGIE

1. METODA CALORIMETRICĂ

Metoda calorimetrică se bazează pe măsurarea efectului caloric pe care semnalul a cărui putere se măsoară îl dezvoltă într-o sarcină rezistivă. Pe baza acestei metode au fost realizate diferite aparate, dintre care **calorimetrul cu substituţie** este reprezentat în figura 9.4. Calorimetrul cu substituţie constă dintr-o sarcină rezistivă scufundată într-un lichid a cărui creştere de temperatură se poate măsura. Se alimentează sarcina R în înaltă frecvenţă şi se notează creşterea temperaturii. Apoi se înlocuieşte sursa de înaltă frecvenţă cu o sursă de joasă frecvenţă sau de curent continuu a cărei putere se reglează pînă cînd se obţine aceeaşi creştere de temperatură. Puterea de joasă frecvenţă sau de curent continuu se măsoară cu wattmetrul electrodinamic sau cu ampermetrul şi voltmetrul. Întrucît cele două surse au produs acelaşi efect termic, rezultă că puterea de înaltă frecvenţă are aceeaşi valoare cu cea de joasă frecvenţă sau de curent continuu.

Metoda calorimetrică este utilizată în special pentru măsurarea puterilor *în foarte înaltă frecvenţă.*

2. METODA FOTOMETRICĂ

Metoda fotometrică este tot o metodă de substituţie, utilizată în special în domeniul frecvenţelor înalte. Instalaţia pentru măsurarea puterii prin metoda fotometrică este reprezentată în figura 9.5 şi conţine un bec L care este alimentat succesiv de

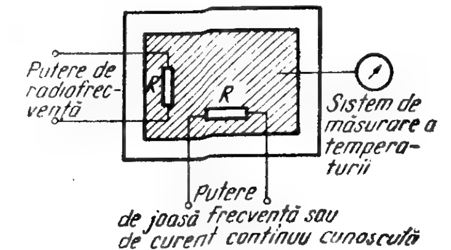


Fig. 9.4. Calorimetrul cu substituţie.

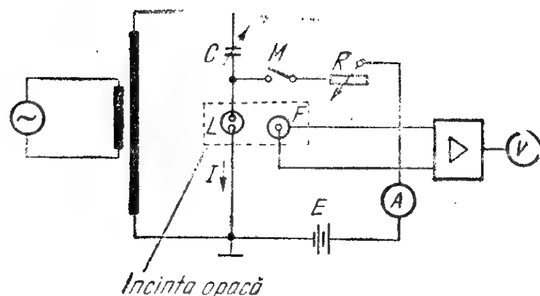


Fig. 9.5. Măsurarea puterii prin metoda fotometrică.

la o sursă de înaltă frecvență și de la o sursă de curent continuu. Modul de lucru presupune două etape:

— în prima etapă întrerupătorul M este deschis și becul L se alimentează de la sursa de înaltă frecvență a cărei putere se măsoară. Filamentul becului devine incandescent și cu ajutorul unei fotocelule F se determină fluxul luminos emis sub un anumit unghi solid. La voltmetrul V se va citi în acest caz tensiunea U_0;

— în cea de-a doua etapă, se întrerupe sursa de înaltă frecvență și se închide întrerupătorul M, astfel încît becul L este alimentat în curent continuu. Se reglează rezistența R pînă cînd voltmetrul V indică din nou tensiunea U_0. Aceasta înseamnă că cele două surse au debitat puteri egale.

Citind indicația ampermetrului A și cunoscînd valoarea rezistenței R_L a becului, se poate calcula puterea de curent continuu $P_{\infty} = I^2R_L$ care este egală cu puterea de înaltă frecvență.

Metoda descrisă poate introduce erori la frecvențe mari, datorită variației rezistenței becului în funcție de frecvență. Pentru puteri mici și frecvențe pînă la 5 MHz erorile nu depășesc 10%. Pentru frecvențe mai mari, se pot face corecții în funcție de frecvență.

PROBLEME ȘI ÎNTREBĂRI RECAPITULATIVE

1. De ce la măsurarea puterii în circuitele electronice wattmetrele electrodinamice și ferodinamice nu mai sînt suficiente?
2. Ce metode sînt specifice pentru măsurarea puterii în circuitele electronice?
3. De ce la metoda sarcinii artificiale sarcina reală se înlocuiește cu o rezistență?
5. Cum se pot realiza diferite impedanțe de intrare la wattmetrele de ieșire?
4. Ce metodă se folosește la măsurarea puterii la frecvențe foarte înalte?

Capitolul 10

APARATE ȘI METODE PENTRU MĂSURAREA IMPEDANȚELOR

A. GENERALITĂȚI

● **Impedanța** este o mărime care *caracterizează funcționarea elementelor de circuit în curent alternativ*. Ea se definește cu ajutorul legii lui Ohm aplicate în curent alternativ. În curent continuu, conform legii lui Ohm:

$$\frac{U}{I} = R. \tag{10.1}$$

În curent alternativ, legea lui Ohm devine:

$$\frac{U}{I} = Z. \tag{10.2}$$

Avînd aceeași relație de definiție, rezistența și impedanța vor avea aceeași unitate de măsură, *ohmul* $\left(1\Omega = \frac{1V}{1A}\right)$.

Față de rezistență, impedanța are un caracter mai complex, deoarece în curent alternativ elementele de circuit prezintă, pe lîngă proprietatea de rezistență, și proprietățile de inductanță (L) și capacitate (C).

● **Inductanța** este proprietatea elementelor de circuit de a se opune variațiilor de curent. Inductanța se poate defini ca raportul între fluxul magnetic ce trece printr-un element de circuit și intensitatea curentului care a generat acel flux: $L = \frac{\Phi}{I}$ Unitatea de măsură pentru inductanță este *henry* $\left(1H = \frac{1Wb}{1A}\right)$. În practică se utilizează frecvent submultiplii mH și μH.

Inductanța este o proprietate specifică bobinelor (*inductanță proprie* — a unei bobine, sau *inductamță mutuală* — între două bobine, atunci cînd fluxul creat de o bobină trece și prin spirele celeilalte bobine).

• **Capacitatea** este proprietatea elementelor de circuit de a acumula sarcini electrice şi se poate defini ca raportul între cantitatea de electricitate ce se acumulează într-un element de circuit şi tensiunea la care este alimentat elementul respectiv: $C = \frac{Q}{U}$. Unitaaet de măsură pentru capacitate este *faradul* $\left(1F = \frac{1C}{1V}\right)$. În practică se utilizează submultiplii pF, nF şi μF.

• **Reactanţa.** Valorile inductanţelor şi capacităţilor depind de datele constructive ale elementelor de circuit (dimensiuni, materiale). În circuit, ele se manifestă prin „reactanţele" corespunzătoare, care depind de frecvenţă. În curent alternativ sinusoidal reactanţa inductivă este $X_L = \omega L$, iar reactanţa capacitivă este $X_C = \frac{1}{\omega C}$, unde $\omega = 2\pi f$ reprezintă pulsaţia.

• **Diagrame fazoriale.** Impedanţele prezintă următoarele componente:

R — rezistenţă;

X_L — reactanţă inductivă;

X_C — reactanţă capacitivă.

Cele trei componente ale impedanţei nu se pot însuma algebric, ci numai fazorial, deoarece inductanţele defazează tensiunea înaintea curentului cu $\frac{\pi}{2}$ rad, capacităţile defazează tensiunea în urma curentului cu $\frac{\pi}{2}$ rad, iar rezistenţele nu introduc nici un defazaj.

În figurile 10.1, *c* şi 10.1, *d* s-au reprezentat diagramele fazoriale corespunzătoare tensiunilor ce intervin în cazul impedanţelor din figurile 10.1, *a* şi 10.1, *b*. Dacă în diagramele fazoriale din figurile 10.1, *c* şi 10.1, *d* se simplifică toate tensiunile cu I, se obţin diagramele din figurile 10.1, *e* şi 10.1, *f* reprezentînd diagramele fazoriale ale impedanţelor Z. Din aceste diagrame se pot calcula modulul impedanţei Z şi tangenta unghiului de dafazaj φ dintre tensiune şi curent:

$$|Z| = \sqrt{R^2 + X^2}; \ \mathrm{tg}\,\varphi = \frac{X}{R}. \qquad (10.3)$$

• **Exprimarea impedanţelor în numere complexe.** Asimilînd diagramele fazoriale din figura 10.1 unui plan complex (axa orizontală —

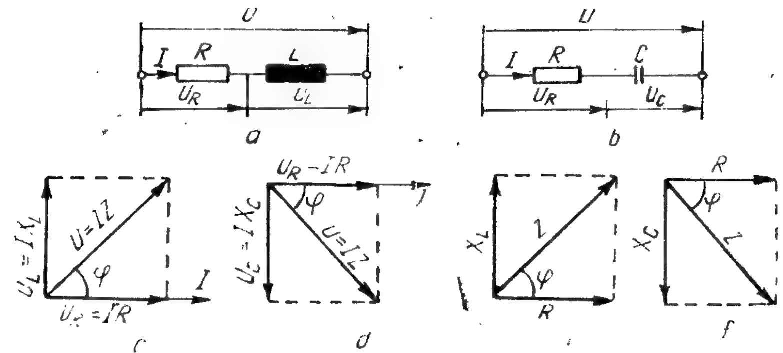


Fig. 10.1. Impedanţe şi diagramele lor fazoriale.

numere reale, axa verticală — numere imaginare), impedanţele se pot exprima sub forma unor numere complexe. Pe diagrame se observă că reactanţele inductive defazează tensiunea înaintea curentului cu $\frac{\pi}{2}$ rad, deci în plan complex X_L devine $jX_L = j\omega L$, iar reactanţele capacitive defazează tensiunea în urma curentului cu $\frac{\pi}{2}$ rad, deci în plan complex X_C devine $-jX_C = -j\frac{1}{\omega C} = \frac{1}{j\omega C}$.

Ţinînd seama de aceste observaţii, se poate scrie:

$$Z = R + jX = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) = R + j\omega L + \frac{1}{j\omega C}. \qquad (10.4)$$

○ **Notă.** În aceste expresii s-a folosit $j = \sqrt{-1}$ în loc de $i = \sqrt{-1}$, pentru a nu se crea confuzii cu intensitatea instantanee a curentului electric, care se notează cu i.

• **Factorul de calitate.** Elementele reactive de circuit (bobinele şi condensatoarele) prezintă, pe lîngă reactanţă, şi o rezistenţă în care se consumă energie. Cu cît pierderile de energie sînt mai mici, cu atît calitatea elementelor reactive este mai bună. *Factorul de calitate*, care se notează cu Q, se defineşte prin raportul între reactanţa şi rezistenţa unui element de circuit sau ale unui circuit:

$$Q = \frac{X}{R}. \qquad (10.5)$$

Pentru o bobină care are rezistența R_L, $Q_L = \frac{\omega L}{R}$; pentru un condensator cu rezistența de pierderi R_s (considerată în serie), $Q_C = \frac{1}{\omega C R_s}$, iar pentru un circuit în care pe lîngă rezistența bobinei mai intervin și alte rezistențe R', $Q = \frac{\omega L}{R_L + R'}$.

B. METODE PENTRU MĂSURAREA IMPEDANȚELOR

Deoarece, așa cum s-a arătat, rezistența în curent continuu și impedanța în curent alternativ au aceeași relație de definiție, metodele utilizate pentru măsurarea rezistențelor în curent continuu se pot adapta și la măsurarea impedanțelor în curnt alternativ, cu următoarele observații:

— circuitele de măsurare vor fi alimentate în curent alternativ de la o sursă de frecvență f;

— aparatele de măsurat folosite trebuie să fie astfel alese încît să funcționeze la frecvența f a sursei de alimentare;

— elementele de circuit, fiind alimentate în curent alternativ, se vor comporta ca impedanțe.

Pornind de la aceste considerente, s-a realizat o gamă variată de aparate pentru măsurarea impedanțelor și a componentelor lor, utilizîndu-se numeroase metode de măsurare. În continuare se vor analiza cîteva dintre acestea.

1. MĂSURAREA IMPEDANȚELOR PRIN METODA SUBSTITUȚIEI

● Metoda substituției este cea mai simplă metodă. Ea folosește **montajul** din figura 10.2, în care:

G este un generator de c.a. de tensiune U și frecvență f;

A — ampermetru de curent alternativ, capabil să funcționeze la frecvența f;

R_e — rezistența variabilă, etalonată (cutie de rezistențe);

K — comutator cu două poziții.

● **Modul de lucru.** Același ca în curent continuu, are două etape:

I — se închide comutatorul K pe poziția *1* și se citește pe ampermetrul A intensitatea I_1 a curentului electric $\left(I_1 = \frac{U}{Z_x}\right)$;

II — se trece comutatorul K pe poziția *2* și se reglează rezistența variabilă R_e pînă cînd ampermetrul va indica un curent $I_2 = I_1$.

În acest caz $I_2 = \frac{U}{R_e}$. Deoarece $I_2 = I_1$, rezultă că $Z_x = R_e$.

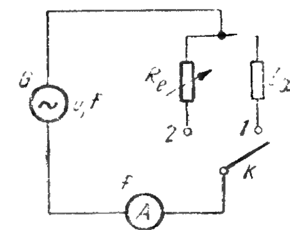


Fig. 10.2. Măsurarea impedanțelor prin metoda substituției.

După cum se observă, această metodă permite numai măsurarea globală a impedanțelor nu și a componentelor lor (R, L, C).

2. MĂSURAREA INDUCTANȚELOR PRIN METODA AMPERMETRULUI ȘI VOLTMETRULUI

a. MĂSURAREA INDUCTANȚELOR PROPRII

Măsurarea inductanțelor proprii ale bobinelor folosind metoda ampermetrului și voltmetrului se bazează pe comportarea diferită a bobinelor în curent continuu și în curent alternativ. Întrucît bobinele au de obicei impedanțe mult mai mici decît rezistența voltmetrului, se folosește varianta aval.

● **Montajul** folosit este reprezentat în figura 10.3. Comutatorul K, cu două poziții permite alimentarea succesivă a circuitului în curent continuu și în curent alternativ.

● **Modul de lucru.** Măsurarea se desfășoară pe trei etape:

I — se închide comutatorul K pe poziția *1* și montajul se alimentează în curent continuu. Se măsoară intensitatea curentului I cu ampermetrul, tensiunea U cu voltmetrul și, aplicînd legea lui Ohm, se calculează R_x;

II — se trece comutatorul K pe poziția *2* și montajul se alimentează în curent alternativ. Se măsoară din nou inten-

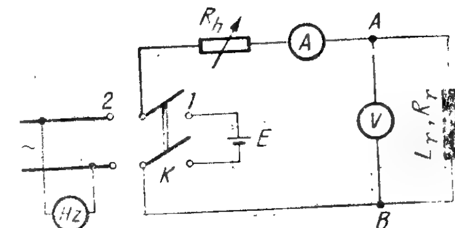


Fig. 10.3. Măsurarea inductanțelor proprii prin metoda ampermetrului și voltmetrului.

sitatea curentului şi tensiunea şi de această dată, aplicînd legea lui Ohm, se va calcula Z;

III — cunoscînd valorile R_x şi Z şi cunoscînd sau măsurînd frecvenţa, se poate deduce valoarea inductanţei:

$$Z = \sqrt{R_x^2 + \omega^2 L_x^2},$$

de unde:

$$L_x = \frac{1}{2\pi f}\sqrt{Z^2 - R_x^2}. \qquad (10.6)$$

b. MĂSURAREA INDUCTANŢELOR MUTUALE

Măsurarea inductanţei mutuale prin metoda ampermetrului şi voltmetrului se bazează pe măsurarea inductanţei totale a două bobine legate în serie, în două variante: o dată astfel încît fluxurile care le străbat să se însumeze, iar altă dată legate astfel încît fluxurile să se scadă (să fie de sens contrar). Cum sensul fluxului depinde de sensul curentului prin bobine, este necesar ca în varianta a doua să se inverseze sensul curentului într-o bobină, inversînd legarea capetelor ei în circuit.

● Măsurarea inductanţei totale a celor două bobine se realizează cu acelaşi **montaj** şi aceeaşi metodă ca şi în cazul inductanţelor proprii numai că între punctele A, B se leagă cele două bobine în serie.

● **Modul de lucru.** Se procedează astfel:

I — cele două bobine se leagă în serie aşa încît fluxurile lor să se însumeze (fig. 10.4, *a*). În acest caz inductanţa mutuală L_{12} este pozitivă. Se măsoară inductanţa totală L_I:

$$L_I = L_1 + L_2 + 2L_{12}; \qquad (10.7)$$

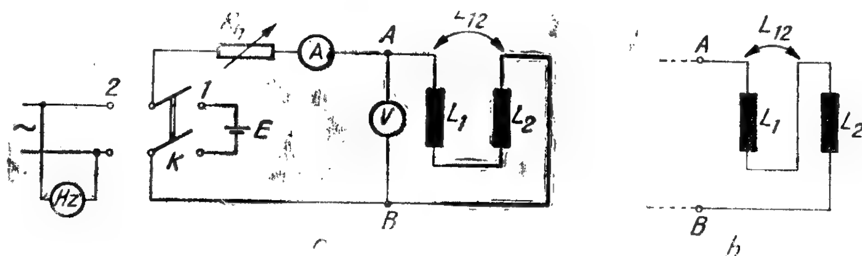


Fig. 10.4. Măsurarea inductanţelor mutuale.

II — cele două bobine se leagă în serie aşa încît fluxurile lor să se scadă (fig. 10.4, *b*). În acest caz inductanţa mutuală este negativă. Se măsoară inductanţa totală L_{II}, care va fi:

$$L_{II} = L_1 + L_2 - 2L_{12}. \qquad (10.8)$$

Făcînd diferenţa $L_I - L_{II}$, se obţine:

$$L_I - L_{II} = 4L_{12},$$

de unde:

$$L_{12} = \frac{L_I - L_{II}}{4}. \qquad (10.9)$$

3. PUNŢI DE CURENT ALTERNATIV

Punţile de curent alternativ, utilizate la măsurarea impedanţelor, au aceeaşi schemă de principiu şi acelaşi mod de funcţionare ca şi punţile de curent continuu. Pentru comparaţie, în figura 10.5 sînt reprezentate o punte de curent continuu şi o punte de curent alternativ.

Puntea de curent alternativ este alimentată de la o sursă de frecvenţă f, elementele din braţele sale se comportă ca impedanţe, iar instrumentul indicator de nul trebuie să funcţioneze la frecvenţa f a sursei.

● **Condiţiile de echilibru.** Ca şi la punţile de curent continuu, cînd prin diagonala în care este montat instrumentul indicator curentul este zero, între cele patru braţe ale punţii există o relaţie bine determinată, cunoscută sub numele de *condiţia de echilibru*, şi care este aceeaşi ca şi la punţile de curent continuu (produsul a două braţe opuse este egal cu produsul celorlalte două braţe opuse, sau raportul a două braţe alăturate este egal cu raportul celorlalte două braţe alăturate).

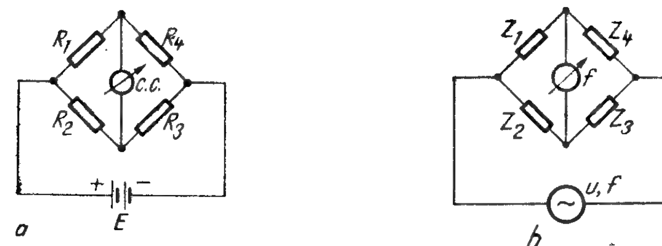


Fig. 10.5. Punţi electrice de măsurat:
a — punte de c.c.; *b* — punte de c.a.

În curent alternativ, această condiţie devine:

$$Z_1Z_3 = Z_2Z_4 \text{ sau } \frac{Z_1}{Z_2} = \frac{Z_4}{Z_3}. \tag{10.10}$$

Fiecare impedanţă poate fi exprimată prin modulul său $|Z|$ şi prin defazajul φ pe care îl introduce: $Z = |Z|e^{j\varphi}$. Ca urmare, condiţia de echilibru se poate scrie şi sub forma:

$$|Z_1|e^{j\varphi_1}|Z_3|e^{j\varphi_3} = |Z_2|e^{j\varphi_2}|Z_4|e^{j\varphi_4},$$

ceea ce este echivalent cu două relaţii, una referitoare la module şi cealaltă la faze:

$$\boxed{|Z_1||Z_3| = |Z_2||Z_4|} \text{ şi } \boxed{\varphi_1 + \varphi_3 = \varphi_2 + \varphi_4} \tag{10.11}$$

Cea de-a doua relaţie arată că punţile de curent alternativ nu pot avea orice configuraţie.

Dacă în două braţe ale unei punţi sînt numai rezistenţe, în celelalte două braţe opuse trebuie să fie reactanţe de semne contrare (într-un braţ inductanţă, în braţul opus capacitate).

De exemplu, dacă $Z_1 = R_1$ şi $Z_3 = R_3$, atunci $\varphi_1 = \varphi_3 = 0$, şi $\varphi_2 + \varphi_4 = 0$. Rezultă că defazajele φ_2 şi φ_4 trebuie să fie de semne contrare, deci impedanţele Z_2 şi Z_4 să conţină reactanţe diferite.

Din această categorie fac parte punţile Maxwell şi Hay.

Dacă în două braţe alăturate ale unei punţi sînt numai rezistenţe, de exemplu $Z_1 = R_1$ şi $Z_2 = R_2$, în celelalte două braţe alăturate trebuie să fie reactanţe de acelaşi fel ($\varphi_1 = \varphi_2 = 0$ şi $\varphi_3 = \varphi_4$, deci φ_3 şi φ_4 trebuie să aibă acelaşi semn). Din această categorie fac parte punţile Sauty şi Nernst.

Ca şi la punţile de curent continuu, dacă se cunosc elementele din trei braţe, se pot deduce cele din al patrulea braţ. Pentru calcule se utilizează de obicei exprimarea impedanţelor sub forma numerelor complexe. În cazul cel mai general, fiecare impedanţă poate fi de forma $Z = R + jX$ şi condiţia de echilibru devine:

$$(R_1 + jX_1)(R_3 + jX_3) = (R_2 + jX_2)(R_4 + jX_4). \tag{10.12}$$

Desfăcînd parantezele şi separînd partea reală de partea imaginară se obţin două relaţii care exprimă împreună condiţia de echilibru:

$$\begin{cases} R_1R_3 - X_1X_3 = R_2R_4 - X_2X_4; \\ R_1X_3 + R_3X_1 = R_2X_4 + R_4X_2 \end{cases} \tag{10.13}$$

● **Echilibrarea punţii.** Pentru satisfacerea celor două relaţii de echilibru, la punţile de curent alternativ *sînt necesare două elemente*

de reglaj. Acestea pot fi rezistoare, bobine sau condensatoare variabile. Deoarece bobinele variabile de inductanţe cunoscute se realizează mai greu în practică, pentru echilibrarea punţilor de curent alternativ se preferă rezistoare şi condensatoare variabile.

Există o mare varietate de punţi de curent alternativ. Ele poartă de obicei numele savanţilor care le-au propus. Se vor analiza în continuare cîteva dintre cele mai răspîndite punţi.

a. PUNŢI PENTRU MĂSURAREA CAPACITĂŢII

● **Puntea Sauty** (fig. 10.6, *b*) este folosită *pentru măsurarea condensatoarelor de bună calitate, cu pierderi mici*, a căror schemă echivalentă se reprezintă de obicei ca în figura 10.6, *a*. Rezistenţa R_x figurată în serie cu capacitatea C_x reprezintă rezistenţa armăturilor condensatorului şi a terminalelor şi este de valoare mică.

● **Modul de lucru.** Se montează condensatorul de măsurat la bornele special prevăzute în construcţia punţii şi se reglează elementele variabile pînă cînd instrumentul indicator arată zero. În acest moment, condiţia de echilibru este satisfăcută şi se poate scrie:

$$R_1\left(R_3 + \frac{1}{j\omega C_3}\right) = R_2\left(R_x + \frac{1}{j\omega C_x}\right). \tag{10.14}$$

Separînd părţile imaginare de cele reale, rezultă:

$$R_1R_3 = R_2R_x \text{ de unde: } \boxed{R_x = \frac{R_1}{R_2}R_3} \tag{10.15}$$

$$\frac{R_1}{\omega C_3} = \frac{R_2}{\omega C_x} \text{ de unde: } \boxed{C_x = \frac{R_2}{R_1}C_3} \tag{10.16}$$

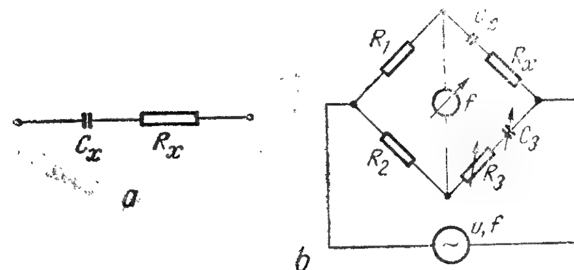


Fig. 10.6. Schema echivalentă a unui condensator cu pierderi mici (*a*); puntea Sauty (*b*).

După cum se observă, R_x este proporţional cu R_3, iar C_x — cu C_3. Această proporţionalitate permite să se gradeze R_3 în valori ale lui R_x şi C_3 în valori ale lui C_x. Raportul $\frac{R_1}{R_2}$ devine factor de multiplicare.

● **Puntea Nernst** (fig. 10.7, *b*) se foloseşte *pentru măsurarea condensatoarelor cu pierderi mari,* a căror schemă echivalentă se reprezintă de obicei ca în figura 10.7, *a*. Rezistenţa R_x figurată în paralel cu capacitatea C_x este în acest caz de valoare mare şi reprezintă rezistenţa în curent alternativ a dielectricului dintre armăturile condensatorului. Braţul în care se află elementele de reglaj are o schemă asemănătoare cu schema echivalentă a condensatorului de măsurat.

Modul de lucru. Se montează condensatorul de măsurat la bornele prevăzute în acest scop şi se reglează pe rînd elementele variabile pînă se aduce puntea la echilibru, cînd se poate scrie:

$$R_1 \frac{1}{\frac{1}{R_3} + j\omega C_3} = R_2 \frac{1}{\frac{1}{R_x} + j\omega C_x}. \qquad (10.17)$$

Aducînd la acelaşi numitor şi separînd părţile reale de cele imaginare, se obţine:

$$\frac{R_1}{R_x} = \frac{R_2}{R_3} \text{ de unde } \boxed{R_x = \frac{R_1}{R_2} R_3} \qquad (10.18)$$

şi

$$R_1\omega C_x = R_2\omega C_3 \text{ de unde: } \boxed{C_x = \frac{R_2}{R_1} C_3} \qquad (10.19)$$

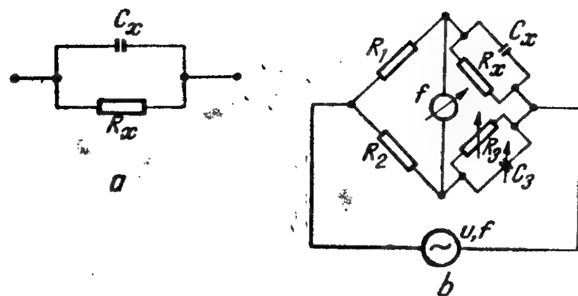


Fig. 10.7. Schema echivalentă a unui condensator cu pierderi mari (*a*); puntea Nernst (*b*).

Ca şi la puntea Sauty, şi la puntea Nernst se pot grada R_3 în valori ale lui R_x, şi C_3 în valori ale lui C_x. Raportul $\frac{R_1}{R_2}$ devine factor de multiplicare.

● **Puntea Schering** este una dintre cele mai răspîndite punţi Este folosită atît la tensiuni joase, cît şi la tensiuni înalte. De asemenea, se foloseşte atît în joasă frecvenţă, cît şi la frecvenţe înalte.

Puntea Schering reprezentată în figura 10.8 se utilizează *pentru măsurarea condensatoarelor sub înaltă tensiune.* Montajul este astfel realizat încît aproape toată tensiunea să se regăsească la bornele condensatoarelor C_x şi C_1; pe elementele de reglaj nu se aplică decît o mică parte din tensiunea de alimentare a punţii, astfel încît să fie respectate normele de tehnica securităţii muncii. Pentru a înlătura pericolul apariţiei unor tensiuni mari pe elementele reglabile ale punţii, punctele *A* şi *B* se conectează la masă prin siguranţele de protecţie *S*. În cazul ridicării tensiunii peste o anumită valoare, siguranţele *S* se străpung şi braţele reglabile ale punţii sînt legate la pămînt.

● **Modul de lucru** este acelaşi ca la celelalte punţi. Din condiţia de echilibru:

$$R_3 \frac{1}{j\omega C_1} = \left(R_x + \frac{1}{j\omega C_x}\right) \frac{1}{\frac{1}{R_2} + j\omega C_2} \qquad (10.20)$$

se poate deduce:

$$\boxed{R_x = \frac{C_2}{C_1} R_3} \text{ şi } \boxed{C_x = \frac{R_2}{R_3} C_1} \qquad (10.21)$$

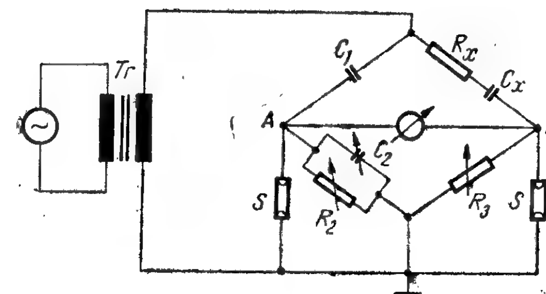


Fig. 10.8. Puntea Schering pentru măsurarea condensatoarelor sub înaltă tensiune.

b. PUNŢI PENTRU MĂSURAREA INDUCTANŢEI

• **Puntea Maxwell** (fig. 10.9) este cea mai utilizată punte pentru măsurarea bobinelor. În construcţia sa, în două braţe opuse se folosesc rezistoare, iar la braţul opus bobinei ce se măsoară se află un condensator în paralel cu un rezistor.

Modul de lucru. Se aduce puntea în echilibru prin reglarea pe rînd a elementelor variabile. La echilibru se poate scrie:

$$R_1R_3 = (R_x + j\omega L_x)\left(\frac{1}{\frac{1}{R_2} + j\omega C_2}\right). \quad (10.22)$$

Din relaţia (10.22) se poate deduce:

$$\boxed{R_x = \frac{R_1R_3}{R_2}} \text{ şi } \boxed{L_x = R_1R_3C_2} \quad (10.23)$$

Puntea Maxwell *este destinată măsurării bobinelor cu factor de calitate* $\left(Q = \frac{\omega L_x}{R_x}\right)$ *mic*. La bobinele cu Q mare, R_x este foarte mic şi după cum rezultă din relaţia (10.23) ar fi necesar ca R_2 să fie de valoare foarte mare. Acest lucru este mai dificil de realizat în practică.

• **Puntea Hay** (fig. 10.10) se foloseşte *pentru măsurarea bobinelor cu factor de calitate mare*. Spre deosebire de puntea Maxwell, în construcţia punţii Hay elementele de reglaj din braţul opus bobinei sînt montate în serie.

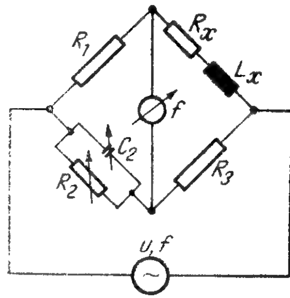


Fig. 10.9. Puntea Maxwell.

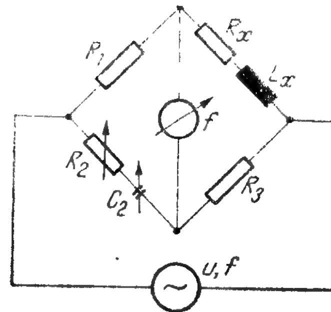


Fig. 10.10. Puntea Hay.

Modul de lucru. Reglînd elementele variabile pe rînd, se aduce puntea la echilibru, cînd este satisfăcută relaţia:

$$R_1R_3 = (R_x + j\omega L_x)\left(R_2 - \frac{1}{j\omega C_2}\right). \quad (10.24)$$

Separînd părţile reale de cele imaginare, se obţine:

$$R_1R_3 = R_2R_x + \frac{L_x}{C_2} \text{ şi } \frac{R_x}{\omega C_2} = R_2\omega L_x. \quad (10.25)$$

Dacă în ultima relaţie se împart ambii termeni cu R_x şi R_2, se observă că $\frac{1}{\omega R_2C_2} = \frac{\omega L_x}{R_x} = Q$. Rezolvînd sistemul format din relaţiile (10.25) şi ţinînd seama că $Q \gg 1$, rezultă:

$$\boxed{R_x = R_1R_2R_3\omega^2C_2^2} \text{ şi } \boxed{L_x = R_1R_3C_2} \quad (10.26)$$

După cum se observă din expresia lui R_x, echilibrul acestei punţi depinde de frecvenţă: ca urmare, tensiunea cu care se alimentează puntea trebuie să fie sinusoidală, de frecvenţă constantă şi cunoscută.

c. PUNŢI RLC. PUNŢI RC

În practică se întîlnesc frecvent punţi care permit măsurarea rezistenţelor, inductanţelor şi capacităţilor, cunoscute sub numele de *punţi universale* sau *punţi RLC*. Unele variante constructive permit numai măsurarea rezistenţelor şi capacităţilor, fiind deci punţi *RC*.

Aceste aparate au în componenţa lor diferite elemente, care prin intermediul comutatoarelor se pot distribui astfel încît să formeze o punte de tip Wheatstone în cazul măsurării rezistenţelor, de tip Sauty în cazul măsurării condensatoarelor şi de tip Maxwell cînd se măsoară bobine.

d. PUNŢI ELECTRONICE

În construcţia punţilor moderne, intervin blocuri funcţionale realizate cu componente electrice. Astfel, instrumentul indicator de nul este un voltmetru electronic, pentru alimentarea în curent continuu punţile sînt prevăzute cu un redresor, iar pentru măsurarea în curent alternativ, la o frecvenţă diferită de 50 Hz, punţile sînt prevăzute cu generatoare care lucrează pe o anumită frecvenţă (de obicei 1 000 Hz în joasă frecvenţă şi 1 MHz în înaltă frecvenţă).

În țara noastră se produc punți RLC la I.E.M.I. în București. De exemplu, puntea RLC tip E 0704 are următoarele posibilități de măsurare:

— măsurări de rezistențe de la 0,5 Ω la 105 MΩ;
— măsurări de capacități de la 1 pF la 1 050 μF;
— măsurări de inductanțe de la 50 μH la 105 H;
— măsurări procentuale între −20% și +20%.

Puntea tip E 0704 poate funcționa în curent continuu și în curent alternativ cu frecvența de 50 Hz sau 1 000 Hz.

4. MĂSURĂRI CU Q-METRUL

Q-metrul este un aparat industrial destinat să măsoare factorul de calitate Q. El este un aparat foarte mult folosit deoarece permite și alte măsurări, cum ar fi: măsurarea inductanțelor, măsurarea rezistențelor în înaltă frecvență, măsurarea capacităților etc.

Funcționarea Q-metrului se bazează pe proprietatea circuitelor LC serie de a prezenta la rezonanță, la bornele elementelor lor, o tensiune de Q ori mai mare decît tensiunea cu care au fost alimentate în serie.

● **Schema de principiu** a unui Q-metru este reprezentată în figura 10.11. Condensatorul variabil C împreună cu bobina ce se montează la bornele A, B formează un circuit LC care este alimentat în serie de la un generator G de frecvență variabilă prin intermediul unui circuit de cuplaj care trebuie să prezinte o rezistență neglijabilă. Voltmetrul electronic VE_1 măsoară tensiunea cu care este alimentat circuitul LC, iar voltmetrul electronic VE_2 măsoară tensiunea la bornele condensatorului C.

● **Modul de lucru.** Dacă circuitului LC i se aplică în serie o tensiune U_1, intensitatea curentului prin acest circuit va fi:

$$I = \frac{U_1}{R_L + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)}. \qquad (10.27)$$

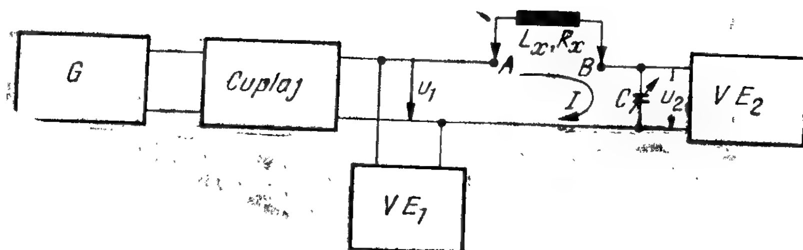


Fig. 10.11. Q-metrul.

Variind capacitatea condensatorului C sau frecvența generatorului se aduce circuitul LC la rezonanță. În acest caz, $\omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C}$ și intensitatea curentului devine maximă:

$$I = I_{max} = \frac{U_1}{R_L}. \qquad (10.28)$$

Rezonanța este pusă în evidență de voltmetrul VE_2 care măsoară la rezonanță la bornele condensatorului tot o tensiune maximă:

$$U_{2max} = I_{max} X_C = \frac{U_1}{R_L} \cdot \frac{1}{\omega_0 C}. \qquad (10.29)$$

Înlocuind $\frac{1}{\omega_0 C}$ cu $\omega_0 L$ se obține:

$$U_{2max} = U_1 \frac{\omega_0 L}{R_L} = U_1 Q. \qquad (10.30)$$

Conform relației (10.30), tensiunea la bornele condensatorului C, la rezonanță, este de Q ori mai mare decît tensiunea U_1 cu care s-a alimentat circuitul.

Dacă se menține U_1 constant, $U_2 = KQ$. Această relație permite transcrierea scării gradate a voltmetrului VE_2 în valori ale lui Q, obținîndu-se astfel un aparat cu citire directă pentru măsurarea factorului de calitate. Punîndu-se condiția $U_1 = K$, rezultă că scara gradată în valori ale lui Q este valabilă numai pentru o anumită valoare a tensiunii U_1. Pentru a se respecta această condiție, pe scara gradată a voltmetrului VE_1 este trasat un reper, iar tensiunea U_1 se reglează astfel încît indicația voltmetrului VE_1 să fie totdeauna la reperul respectiv.

PROBLEME ȘI ÎNTREBĂRI RECAPITULATIVE

1. **Adaptați metoda comparării tensiunilor, studiată în c.c. pentru măsurarea rezistențelor, la măsurarea impedanțelor!**
2. **De ce la punțile de c.a. sînt necesare cel puțin două elemente de reglaj?**
3. **Comparați punțile Sauty și Nernst!**
4. **Comparați punțile Maxwell și Hay!**
5. **Cum se va modifica scara gradată a unui Q-metru, dacă tensiunea măsurată de voltmetrul VE_1 este jumătate din cea corespunzătoare reperului de pe scara gradată?**

Capitolul 11

MĂSURAREA FRECVENȚELOR

Frecvența caracterizează mărimile periodice și reprezintă numărul de perioade în unitatea de timp. Unitatea de măsură pentru frecvențe în sistemul SI este herțul, avînd ca simbol Hz.

În practică se întîlnesc frecvențe de la fracțiuni de herț pînă la zeci de gigaherți. Un domeniu atît de larg de frecvențe a generat și o mare varietate de metode și aparate de măsurat. Metodele cele mai folosite sînt:

— *metode de comparație*: cu osciloscopul catodic; cu heterodinare;
— *metode de rezonanță*;
— *metode directe*;
— *metode numerice*.

Metodele care folosesc osciloscopul catodic vor fi studiate la capitolul destinat osciloscopului, iar metodele numerice — la capitolul care tratează aparatele de măsurat digitale.

A. METODE DE COMPARAȚIE

La metodele de comparație, frecvența de măsurat se compară cu frecvența unui generator de frecvență variabilă și cunoscută.

Dintre metodele de comparație face parte și metoda heterodinării, folosită atît în joasă, cît și în înaltă frecvență.

METODA HETERODINĂRII

Măsurarea frecvențelor cu metoda heterodinării se bazează pe principiul heterodinării, conform căruia dacă la intrarea unui element de circuit neliniar se aplică simultan două semnale de frecvențe diferite f_1 și f_2, la ieșirea lui, pe lîngă semnalele aplicate la intrare, datorită neliniarității, apar și semnale care au frecvențe egale cu suma frecvențelor de la intrare $(f_1 + f_2)$ sau cu diferența lor $(f_1 - f_2)$. Semnalul avînd frecvența egală cu $f_1 - f_2$ se poate separa cu un filtru trece-jos și măsura.

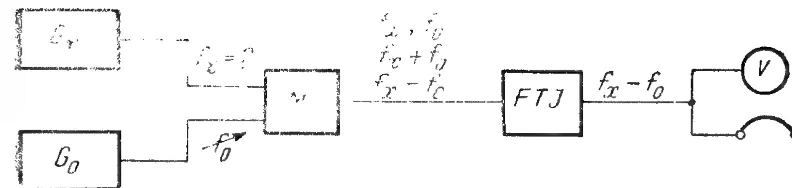


Fig. 11.1. Măsurarea frecvențelor cu metoda heterodinării.

● **Montajul** folosit la măsurarea frecvențelor prin metoda heterodinării este reprezentat în figura 11.1, în care G_x este generatorul frecvenței f_x ce urmează să se măsoare, iar G_0 este un generator de frecvență f_0 variabilă și cunoscută. Semnalele date de cele două generatoare se aplică elementului neliniar M. La ieșirea acestuia apar și semnale avînd frecvențe $f_x + f_0$ și $f_x - f_0$. Semnalul cu frecvența $f_x - f_0$ se selectează cu filtrul trece-jos (FTJ) și se urmărește într-o cască telefonică conectată în paralel cu un voltmetru de c.a.

● **Modul de lucru.** Se realizează montajul din figura 11.1 și se variază frecvența f_0 a generatorului G_0, urmărind ca în cască să se audă tonuri din ce în ce mai joase. Cînd în cască nu se mai aude nimic, se continuă variația frecvenței f_0 în același sens, pînă cînd voltmetrul V indică zero. În acest caz nu mai există componente de curent alternativ, deci $f_x - f_0 = 0$. Din această egalitate se obține:

$$f_x = f_0, \tag{11.1}$$

ceea ce înseamnă că în momentul în care voltmetrul indică zero, frecvența de măsurat este egală cu frecvența generatorului G_0.

B. METODE DE REZONANȚĂ

Metodele de rezonanță se bazează pe proprietățile selective ale circuitelor LC. După cum se știe, circuitele LC prezintă fenomenul de rezonanță pentru o frecvență dependentă de valorile inductanței L și capacității $C\left(f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}\right)$.

Pentru frecvența de rezonanță la circuitul LC serie intensitatea curentului este maximă, iar la circuitul LC derivație tensiunea este maximă. Curbele de rezonanță, reprezentînd variația intensității curentului în funcție de frecvență $I = F(f)$ la circuitul LC serie, respectiv variația tensiunii în funcție de frecvență la circutul LC derivație, sînt arătate în figura 11.2.

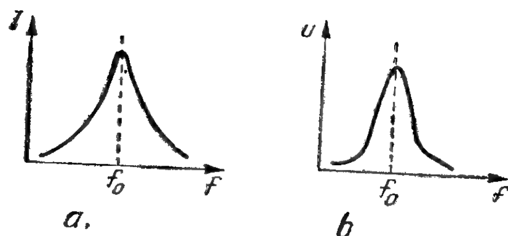


Fig. 11.2. Curbele de rezonanță ale circuitelor LC:
a — circuitul LC serie; b — circuitul LC derivație.

FRECVENȚMETRUL DE REZONANȚĂ

● **Montajul.** Frecvențmetrul de rezonanță se folosește *la măsurarea frecvențelor înalte* (radiofrecvențe). El este format dintr-un circuit LC alcătuit dintr-o bobină fixă L și un condensator variabil C și un aparat cu care se poate pune în evidență fenomenul de rezonanță. În acest scop se poate folosi în serie cu circuitul un ampermetru cu termocuplu (fig. 11.3, *a*), sau în paralel pe circuit — un voltmetru electronic (fig. 11.3, *b*).

● **Modul de lucru.** Pentru măsurarea frecvenței f_x a unui semnal, se apropie frecvențmetrul la cîțiva centimetri de sursa de semnal, realizîndu-se în acest mod un cuplaj inductiv. Se variază condensatorul C pînă cînd ampermetrul A sau voltmetrul V indică un maxim. În acest moment, frecvențmetrul este la rezonanță pe frecvența sursei:

$$f_x = f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \qquad (11.2)$$

Deoarece inductanța L are o valoare constantă, se poate scrie:

$$f = K\frac{1}{\sqrt{C}}. \qquad (11.3)$$

Pe baza acestei relații, se poate transcrie scara gradată a condensatorului C în valori ale frecvenței, obținîndu-se un aparat cu citire directă.

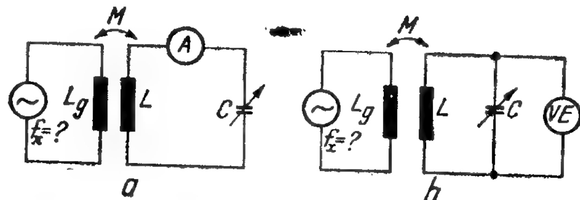


Fig. 11.3. Măsurarea frecvenței cu frecvențmetre de rezonanță:
a — cu ampermetru cu termocuplu; b — cu voltmetru electronic.

Frecvențmetrele de rezonanță se pot etalona și în lungimi de undă corespunzătoare frecvențelor ce se măsoară, pe baza relației:

$$\lambda = c \cdot T, \qquad (11.4)$$

unde λ este lungimea de undă, c — viteza de propagare a undelor electromagnetice, egală cu viteza luminii ($3 \cdot 10^{10}$cm/s), iar T — perioada semnalului ce se măsoară. Deoarece $T = \frac{1}{f}$,

$$\lambda = \frac{c}{f}. \qquad (11.5)$$

Această relație permite transcrierea scărilor gradate ale frecvențmetrelor în lungimi de undă, obținîndu-se aparate ce poartă numele de *undametre*. Undametrele sînt foarte mult utilizate în radiocomunicații.

C. METODE DIRECTE

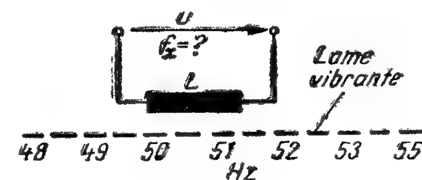
Frecvențmetrele cu citire directă sînt aparate indicatoare cu scara gradată în herți și care nu necesită reglaje sau operații suplimentare în timpul măsurării.

1. FRECVENȚMETRUL CU LAME VIBRANTE

Frecvențmetrele cu lame vibrante se folosesc *pentru frecvențe joase, de obicei pentru frecvența rețelei.*

Aparatul, reprezentat schematic în figura 11.4, conține mai multe lame metalice avînd frecvențe de rezonanță mecanică diferite. În apropierea lamelor, se află o bobină parcursă de curentul a cărui frecvență se măsoară. Sub influența bobinei, lama care are frecvența de rezonanță egală cu frecvența curentului începe să vibreze, indicînd în acest mod frecvența.

Fig. 11.4. Reprezentarea schematică a unui frecvențmetru cu lame vibrante.



2. FRECVENŢMETRU CU LOGOMETRU

Frecvenţmetrele cu logometru funcţionează de asemenea *la frecvenţe joase* (pînă la cîteva mii de herţi). Ele folosesc ca instrumente indicatoare logometre feromagnetice, electrodinamice sau ferodinamice.

Un *logometru* este un aparat cu două circuite de măsurare, parcurse de doi curenţi I_1 şi I_2, şi a cărui indicaţie este funcţie de raportul intensităţilor celor doi curenţi:

$$\alpha = K\frac{I_2}{I_1}. \quad (11.6)$$

În figura 11.5, *a* este prezentată *schema unui frecvenţmetru cu logometru feromagnetic.* În serie cu fiecare bobină a logometrului este conectat cîte un circuit *LC*, acordat pe frecvenţele f_{01} şi respectiv f_{02}. Variaţia curenţilor I_1 şi I_2 în funcţie de frecvenţă este reprezentată în figura 11.5, *b*. Indicaţia aparatului fiind proporţională cu raportul celor doi curenţi, va fi la rîndul său funcţie de frecvenţă, iar scara se poate grada direct în frecvenţe.

Frecvenţmetrele cu logometru se construiesc pentru intervale reduse de frecvenţe, cuprinse între cele două frecvenţe de rezonanţă (de exemplu 45—55 Hz; 410—450 Hz; 1 450—1 550 Hz).

3. FRECVENŢMETRE CU CONDENSATOR

Frecvenţmetrele cu condensator funcţionează într-o *bandă largă de frecvenţe*, începînd *de la fracţiuni de herţ pînă la circa 100 kHz*. Funcţionarea lor se bazează pe proporţionalitatea între intensitatea curentului într-un circuit care are ca sarcină un condensator şi frecvenţă. Schema principială a unui frecvenţmetru cu condensator este reprezentată în figura 11.6. Aplicînd legea lui Ohm, se obţine:

$$I = \frac{U}{X_C} = U \cdot C \cdot 2\pi f_x. \quad (11.7)$$

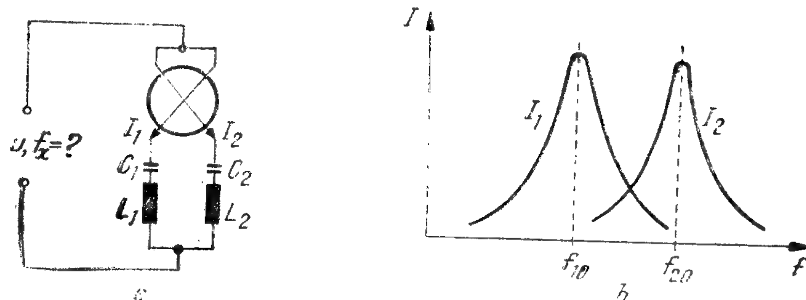


Fig. 11.5. Frecvenţmetrul cu logometru.

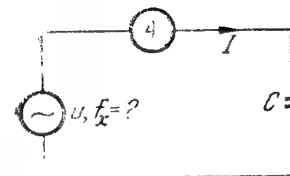


Fig. 11.6. Schema principială a unui frecvenţmetru cu condensator.

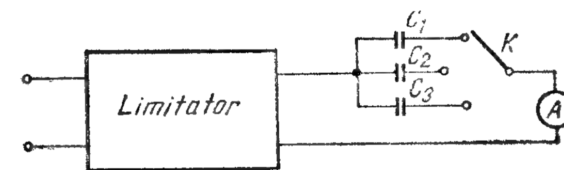


Fig. 11.7. Schema bloc a unui frecvenţmetru cu condensator.

Dacă circuitul se alimentează de la tensiune constantă, se poate nota $UC2\pi = K$ şi se obţine:

$$I = Kf. \quad (11.8)$$

Această relaţie între intensitatea curentului şi frecvenţă permite transcrierea scării gradate a ampermetrului în valori ale frecvenţei, obţinîndu-se un frecvenţmetru cu citire directă.

La realizarea practică a frecvenţmetrelor cu condensator apar *două probleme*:

— tensiunea ce alimentează circuitul cu condensator trebuie să fie constantă;

— ampermetrul trebuie să funcţioneze într-o bandă largă de frecvenţe.

Pentru menţinerea tensiunii constante în circuitul cu condensator, indiferent de amplitudinea tensiunii aplicate la intrarea aparatului, frecvenţmetrele sînt prevăzute cu un limitator. Limitatorul este un circuit care menţine tensiunea la ieşirea sa constantă dacă tensiunea de la intrare depăşeşte o anumită valoare, numită prag de limitare.

Pentru obţinerea unui ampermetru care să funcţioneze într-o bandă largă de frecvenţe, se foloseşte un aparat magnetoelectric împreună cu un detector.

Schema bloc a unui frecvenţmetru cu condensator este reprezentată în figura 11.7. Comutatorul *K* permite schimbarea condensatorului, pentru a obţine mai multe intervale de măsurare (× 1; × 10; × 100...).

PROBLEME ŞI ÎNTREBĂRI RECAPITULATIVE

1. Ce s-ar întîmpla dacă folosind metoda heterodinării pentru controlul la ieşire ar fi prevăzută numai casca telefonică? Dar dacă ar fi numai voltmetrul?
2. În figura 11.3. se observă că frecvenţmetrul de rezonanţă nu are borne de legătură cu circuitul de măsurat. Cum se realizează în acest caz cuplajul?

Capitolul 12

OSCILOSCOPUL

A. GENERALITĂŢI

Osciloscopul *este un aparat care permite vizualizarea pe ecranul unui tub catodic a curbelor ce reprezintă variaţia în timp a diferitelor mărimi sau a curbelor ce reprezintă dependenţa între două mărimi. Imaginile obţinute pe ecran se numesc* **oscilograme.**

1. UTILIZĂRI

Osciloscopul este unul dintre cele mai răspîndite aparate electronice, şi are o largă utilizare, fie ca aparat de sine stătător, fie ca parte componentă a altor aparate electronice.

Ca aparat de sine stătător, el se utilizează la:

— vizualizarea şi studierea curbelor de variaţie în timp a diferitelor semnale electrice, (curenţi, tensiuni);

— compararea diferitelor semnale electrice;

— măsurarea unor mărimi electrice (tensiuni, intensităţi ale curentului, frecvenţe, defazaje, grad de modulaţie, distorsiuni etc.);

— măsurarea valorilor instantanee a unor semnale (tensiuni curenţi).;

— măsurarea intervalelor de timp;

— vizualizarea caracteristicilor componentelor electronice (tuburi electronice, tranzistoare), a curbelor de histerezis ale materialelor magnetice etc.

Uneori *osciloscopul face parte din sisteme de măsurare şi control sau din aparate mai complexe,* cum ar fi: caracterograful (aparat pentru vizualizarea caracteristicilor tranzistoarelor), vobuloscopul (aparat pentru vizualizarea caracteristicilor de frecvenţă ale amplificatoarelor), selectograful (aparat pentru vizualizarea curbelor de selectivitate) etc.

Împreună cu diferite traductoare, osciloscopul poate fi folosit şi la studierea şi măsurarea unor mărimi neelectrice, cum ar fi în medicină, fizică nucleară, geofizică etc.

Osciloscopul se realizează într-o mare varietate de tipuri constructive. În ţara noastră se construiesc diferite tipuri de osciloscoape la I.E.M.I. — Bucureşti.

2. PROPRIETĂŢI

Ca aparat de măsurat şi control, osciloscopul prezintă unele avantaje ca:

— impedanţă de intrare mare, de ordinul megohmilor;

— consum de putere foarte mic de la circuitul de măsurat;

— sensibilitate mare (la unele tipuri constructive constanta fiind de fracţiuni de mV/cm);

— bandă de frecvenţe foarte largă, pînă la sute de megaherţi şi în construcţii speciale (cu eşantionare), pînă la zeci de gigaherţi;

— comoditate în exploatare.

3. PRINCIPIUL DE FUNCŢIONARE

Elementul principal al unui osciloscop este tubul catodic. *Pentru a putea afişa pe ecranul tubului catodic curba ce reprezintă dependenţa între două mărimi,* $A = f(B)$, este necesar:

— să se obţină pe un ecran un punct luminos (spot);

— să se poată deplasa acest punct după două direcţii, orizontală (x) şi verticală (y), pentru a descrie pe un ecran curba dorită.

Realizarea acestor deziderate este posibilă avînd în vedere:

— proprietatea unui fascicul de electroni de a produce în punctul de impact (de ciocnire) iluminarea unui ecran tratat cu substanţe luminofore;

— proprietatea unui fascicul de electroni de a fi deviat sub acţiunea unui cîmp electric sau magnetic.

Fasciculul de electroni este produs, focalizat şi accelerat în tubul catodic şi loveşte ecranul acestuia producînd un punct luminos (spot). Deplasarea spotului pe ecran se realizează prin devierea fasciculului de electroni cu ajutorul unor cîmpuri electrice create de două perechi de plăci de deflexie din interiorul tubului catodic, la aplicarea unor tensiuni U_y la plăcile de deflexie pe direcţia y şi U_x la plăcile de deflexie pe direcţia x.

Pentru ca pe ecran să apară curba $A = f(B)$, celor două perechi de plăci de deflexie li se aplică tensiuni U_y şi U_x proporţionale cu mărimile A şi respectiv B. Ca urmare, spotul se va deplasa după direcţiile y şi x în acelaşi ritm în care variază mărimile A şi B.

Dacă mărimile A şi B sînt periodice, pentru ca pe ecran să apară o imagine stabilă este necesar ca între frecvenţele celor două mărimi să existe relaţia:

$$f_A = n \cdot f_B, \qquad (12.1)$$

unde n este un număr întreg.

B. CONSTRUCŢIE ŞI FUNCŢIONARE

1. ELEMENTE COMPONENTE. SCHEMA BLOC

Deoarece toate osciloscoapele construite în prezent sînt prevăzute cu posibilitatea funcţionării generatorului bază de timp şi în regim declanşat, denumirea de *sincroscop* folosită pentru osciloscoapele cu bază de timp declanşată nu mai este practic utilizată.

Osciloscoapele moderne sînt alcătuite din mai multe elemente componente, conectate între ele după o schemă bloc ca cea reprezentată în figura 12.1, care conţine: tubul catodic, amplificatoarele A_y şi A_x, atenuatoarele At_y şi At_x, generatorul bazei de timp, circuitul de sincronizare (de declanşare), circuitul pentru controlul intensităţii spotului, circuitul de întîrziere şi blocul de alimentare.

○ **Notă.** În afara blocurilor componente reprezentate în figura 12.1, care sînt comune tuturor osciloscoapelor moderne, la unele osciloscoape se mai întîlnesc şi alte circuite, cu destinaţii diferite în funcţie de tipul şi complexitatea aparatului.

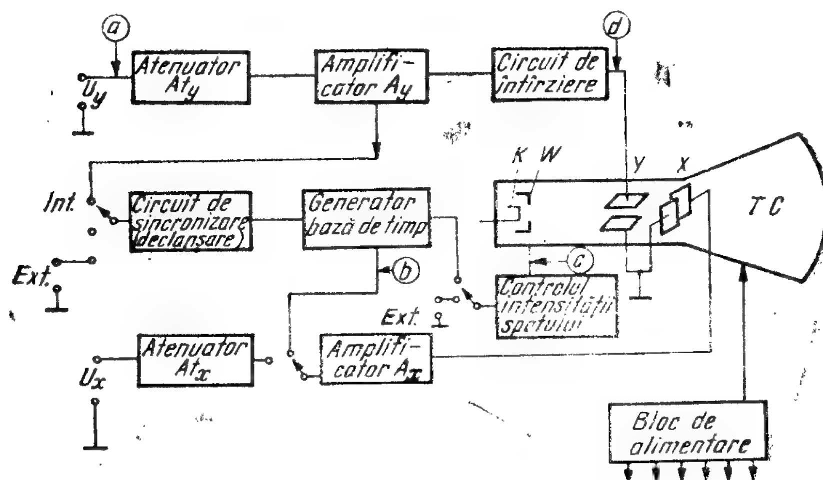


Fig. 12.1. Schema bloc a unui osciloscop catodic.

● **Tubul catodic** este elementul principal al osciloscopului. În interiorul lui se generează fasciculul de electroni care — deviat sub acţiunea cîmpurilor produse de semnalele de studiat, ciocnesc ecranul, descriind pe acesta curbele dorite.

● **Amplificatoarele** A_y şi A_x amplifică semnalele de studiat prea mici, înainte de a fi aplicate plăcilor de deflexie.

● **Atenuatoarele** At_y şi At_x micşorează semnalele prea mari înainte de a fi aplicate amplificatoarelor A_y şi A_x. La osciloscoapele moderne, atenuatoarele sînt calibrate în V/cm sau mV/cm reprezentînd tensiunea necesară la intrarea atenuatorului pentru a produce o deplasare a spotului pe ecran de 1 cm. Această calibrare este valabilă numai dacă reglajul amplificării amplificatorului respectiv este la maxim.

● **Generatorul bazei de timp.** În cazul vizualizării curbelor ce reprezintă variaţia în timp a unor mărimi $[A = f(t)]$, la plăcile de deflexie X trebuie să se aplice o tensiune proporţională cu timpul:

$$U_x = K_x t. \qquad (12.2)$$

Tensiunea U_x trebuie deci să fie o tensiune liniar-variabilă în timp adică de forma dinţilor de ferăstrău. Această tensiune este generată în osciloscop de generatorul bazei de timp.

● **Circuitul de sincronizare (de declanşare).** Pentru ca imaginea de pe ecran să fie stabilă, conform relaţiei (12.1) este necesar ca frecvenţa semnalului de vizualizat să fie un multiplu întreg al frecvenţei bazei de timp:

$$f_A = n \cdot f_{BT}. \qquad (12.3)$$

Pentru realizarea acestei condiţii, generatorul bazei de timp are frecvenţa variabilă şi, în plus, există posibilitatea sincronizării ei, prin circuitul de sincronizare, fie cu semnalul de vizualizat, fie cu un alt semnal exterior.

Funcţionare cu bază de timp declanşată

Pentru a se putea vizualiza şi semnale neperiodice, la osciloscoapele moderne generatorul bazei de timp poate funcţiona la alegere, fie continuu *(relaxat)*, generînd un semnal periodic chiar şi în absenţa semnalului de vizualizat, fie *declanşat*.

Spre deosebire de funcţionarea periodică, funcţionarea declanşată este comandată chiar de semnalul de vizualizat. În lipsa semnalului, baza de timp nu funcţionează. La apariţia unui semnal la intrare, baza de timp se declanşează, generează un singur dinte de ferăstrău şi

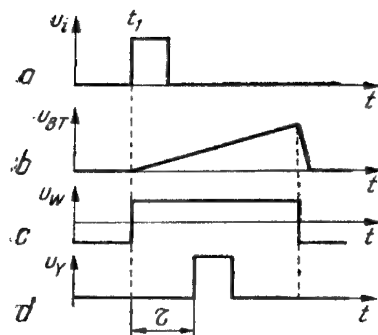


Fig. 12.2. Diagramele tensiunilor în diferite puncte ale schemei osciloscopului:

a — tensiunea la intrare; *b* — tensiunea generată de baza de timp; *c* — tensiunea pe cilindrul Wehnelt; *d* — tensiunea după circuitul de întîrziere.

apoi se blochează din nou în așteptarea unui alt semnal. În cazul în care la intrare se aplică un semnal periodic, baza de timp urmărind semnalul de la intrare devine periodică.

În figura 12.2. sînt reprezentate diagramele tensiunilor în diferite puncte ale schemei unui osciloscop funcționînd cu bază de timp declanșată. În figura 12.2, *a* este repezentat semnalul aplicat la intrare în momentul $t = t_1$. Pînă la apariția semnalului, baza de timp este blocată. La $t = t_1$, baza de timp se declanșează, generează un dinte de ferăstrău și apoi se blochează din nou (fig. 12.2, *b*).

În cazul funcționării cu bază de timp declanșată, mai sînt necesare următoarele circuite:

— *circuitul pentru controlul intensității spotului;*

— *circuitul de întîrziere.*

● **Circuitul pentru controlul intensității spotului.** În cazul funcționării cu bază de timp declanșată, în lipsa semnalului la intrare, baza de timp fiind blocată, atît plăcilor de deflexie *Y* cît și plăcilor de deflexie *X* nu li se aplică nici un semnal. În această situație fasciculul de electroni ar bombarda ecranul într-un singur punct, în centru, ceea ce ar duce la distrugerea luminoforului în punctul respectiv. Pentru a proteja ecranul, osciloscopul este prevăzut cu un circuit pentru controlul intensității spotului. Acesta furnizează o tensiune negativă care se aplică pe cilindrul Wehnelt pentru stingerea spotului cînd baza de timp este blocată (fig.12.2,*c*).

În concluzie, *cînd generatorul funcționează cu bază de timp declanșată și la intrare nu se aplică semnal, spotul nu se vede deoarece este stins!*

Circuitul pentru controlul intensității spotului mai este folosit și la stingerea spotului pe durata cursei de întoarcere și uneori la modularea intensității spotului cu un semnal exterior.

● **Circuitul de întîrziere** are rolul de a întîrzia semnalul astfel încît acesta să se aplice plăcilor *Y* după ce baza de timp a început să funcționeze. În figura 12.2, *d* este reprezentată diagrama tensiunii u_y întîrziată față de tensiunea de la intrare, u_i, cu timpul τ. Dacă nu s-ar folosi circuitul de întîrziere, semnalul s-ar aplica plăcilor *Y* cînd spotul este stins și baza de timp blocată, ceea ce ar face ca începutul semnalului să nu apară pe ecran (fig. 12.3, *a*). Cu circuitul de întîrziere, semnalul se vizualizează corect (fig. 12.3, *b*).

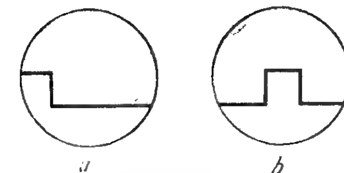


Fig. 12.3. Efectul circuitului de întîrziere:

a — oscilogramă fără circuit de întîrziere; *a* — oscilogramă cu circuit de întîrziere.

● **Blocul de alimentare** conține surse stabilizate de înaltă și joasă tensiune și asigură alimentarea celorlalte blocuri, inclusiv a tubului catodic.

2. TUBUL CATODIC

Așa cum s-a arătat, tubul catodic este elementul principal al osciloscopului. El este un tub cu vid, care are o parte cilindrică și o parte tronconică (fig. 12.4).

● În interiorul tubului **în partea cilindrică**, se află un dispozitiv de emisie și focalizare, numit *tun electronic*, care emite, focalizează și accelerează fasciculul de electroni, și *un sistem de deflexie* pentru devierea acestui fascicul.

● **În partea frontală,** tubul catodic are un *ecran*, acoperit spre interior cu substanțe luminofore. El devine luminos în punctul în care este lovit de fasciculul de electroni.

● În interiorul tubului **pe partea tronconică,** este depus un strat bun conducător de electricitate, care are rolul de ecranare și de colectare a electronilor, după ce aceștia au lovit ecranul.

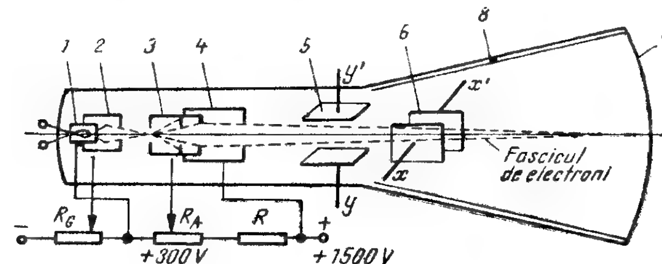


Fig. 12.4. Tubul catodic.

a. DISPOZITIVUL DE EMISIE ŞI FOCALIZARE (TUNUL DE ELECTRONI)

Tunul de electroni este format de obicei dintr-un *catod*, un *electrod de comandă* şi *doi anozi*; de focalizare şi de accelerare.

● **Catodul** *1* este un cilindru metalic cu suprafaţa frontală acoperită cu un strat de oxizi de bariu şi stronţiu, ce pot emite uşor electroni. Catodul este încălzit de un filament, care se află în interior.

● **Electrodul de comandă** *2*, numit şi *cilindru Wehnelt*, este un electrod cilindric ce înconjoară catodul şi care este prevăzut în partea frontală cu un mic orificiu prin care trec electronii.

Electrodul de comandă se află la un potenţial negativ faţă de catod, frînînd în acest mod deplasarea electronilor. Potenţialul electrodului de comandă se poate varia cu potenţiometrul R_G. Cu cît electrodul de comandă va fi mai negativ faţă de catod, cu atît mai puţini electroni vor reuşi să treacă de el. În acest mod, reglînd negativarea cilindrului Wehnelt se poate controla numărul electronilor din fasciculul ce se îndreaptă spre ecran şi, ca urmare, se poate regla luminozitatea spotului de pe ecran.

După trecerea prin electrodul de comandă, fasciculul de electroni este focalizat pe ecranul tubului catodic cu o lentilă electronică formată din cei doi anozi, de focalizare şi de accelerare.

● **Anodul de focalizare** *3* este un cilindru care are un potenţial pozitiv faţă de catod (cîteva sute de volţi), reglabil cu potenţiometrul R_A. Variind acest potenţial se reglează distanţa focală a lentilei electronice, astfel încît focarul ei să cadă pe ecran. Cînd reglajul este corect, imaginea de pe ecran are claritatea maximă.

● **Anodul de accelerare** *4* este tot de formă cilindrică şi are un potenţial fix, pozitiv faţă de catod, de ordinul miilor de volţi. El are rolul de a accelera mişcarea electronilor, determinînd viteza v_0 cu care aceştia se îndreaptă spre ecran.

b. DISPOZITIVUL DE DEFLEXIE

Deviaţia fasciculului de electroni se poate realiza cu cîmpuri electrostatice sau magnetice. La tuburile catodice folosite în osciloscoape se utilizează deviaţia cu cîmpuri electrostatice; dispozitivul de deflexie este format din două perechi de plăci de deflexie dispuse perpendicular una pe alta, pentru devierea fasciculului de electroni după cele două direcţii, *x* şi *y*.

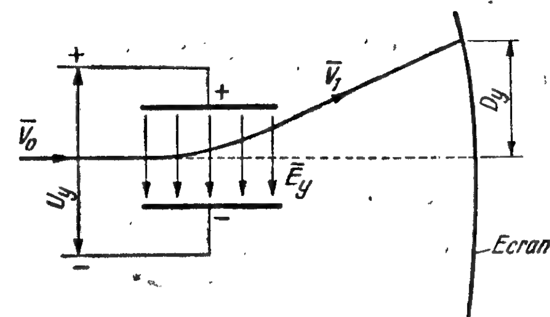


Fig. 12.5. Deviaţia fasciculului de electroni.

Cînd plăcile sînt la acelaşi potenţial, fasciculul de electroni trece printre ele fără a fi deviat şi loveşte ecranul în centru.

Dacă se aplică plăcilor de deflexie *5* o tensiune U_y (fig. 12.5), între ele apare un cîmp electric E_y. Sub acţiunea acestui cîmp, electronii vor fi atraşi de placa mai pozitivă şi respinşi de placa mai negativă cu o forţă $F_y = e \cdot E_y$, care va imprima electronilor o acceleraţie a_y după direcţia *y*. Ca urmare, în spaţiul dintre plăci electronii vor avea atît o mişcare uniformă cu viteza v_0 în lungul tubului, cît şi o mişcare uniform accelerată pe direcţia *y*. În urma combinării celor două mişcări, rezultă o traiectorie parabolică.

Cînd electronii ies dintre plăci, acţiunea cîmpului E_y încetează şi ei îşi continuă mişcarea după o direcţie tangentă la traiectoria parabolică, lovind ecranul la o distanţă D_y faţă de centru. Deviaţia spotului pe ecran D_y este cu atît mai mare cu cît tensiunea U_y aplicată plăcilor *y* este mai mare.

Analog, dacă se aplică plăcilor o diferenţă de potenţial, între ele apare un cîmp electric care deviază fasciculul de electroni pe direcţia orizontală.

Cînd pe ambele perechi de plăci se aplică simultan cîte o diferenţă de potenţial, fasciculul de electroni va fi deviat după o direcţie rezultantă a acţiunii celor două cîmpuri.

c. ECRANUL

După ce au trecut prin sistemul de deflexie, electronii ajung pe ecran (7) producînd spotul luminos. Rolul ecranului este de a transforma o parte cît mai mare din energia cinetică a electronilor în energie luminoasă. În acest scop, pe suprafaţa interioară a ecranului, este depusă o substanţă fluorescentă numită luminofor, care devine luminoasă cînd este bombardată de electroni. Pentru a i se mări eficacitatea, se adaugă diferite substanţe activante.

Culoarea spotului luminos depinde de compoziţia substanţei fluorescente. Pentru observări vizuale se folosesc ecrane cu fluorescenţă

galben-verzuie, deoarece sensibilitatea ochiului este maximă în acest domeniu. Materialul folosit pentru aceste ecrane este wilemitul (ortosilicat de zinc) activat cu magneziu.

După încetarea bombardării cu electroni, ecranul continuă să emită lumină un timp oarecare. Persistența luminii depinde de materialul luminoforului, ea putînd varia între milisecunde și cîteva secunde.

După ce au lovit ecranul, electronii sînt colectați de electrodul de ecranare 8, depus pe suprafața interioară a părții troconice a tubului catodic. Pe această cale, electronii se întorc la sursa de alimentare.

3. GENERATORUL BAZĂ DE TIMP

Generatorul bază de timp este blocul funcțional al osciloscopului catodic în care se generează tensiunea de forma dinților de ferăstrău ce se aplică plăcilor X în cazul vizualizării curbelor ce reprezintă *variația în timp a diferitelor mărimi.*

● **Condiții impuse tensiunii bază de timp.** Deoarece timpul se scurge uniform, este necesar ca *tensiunea aplicată plăcilor X să crească liniar,* deplasînd spotul cu viteză uniformă de la stînga la dreapta, iar *apoi să scadă brusc,* pentru a reîncepe o nouă variație. În intervalul de timp t_1-t_0 cînd tensiunea u_x crește, spotul se deplasează de la stînga la dreapta, descriind pe ecran curba dorită. Forma ideală a tensiunii u_x este cea desenată cu linie plină în figura 12.6, *a*. În practică, însă, nu se poate obține o astfel de variație. Semnalele obținute cu circuitele reale nu sînt perfect liniare și anularea lor nu se face instantaneu, ci într-un interval de timp finit t_2-t_1 (fig 12.6, *a* — linie punctată).

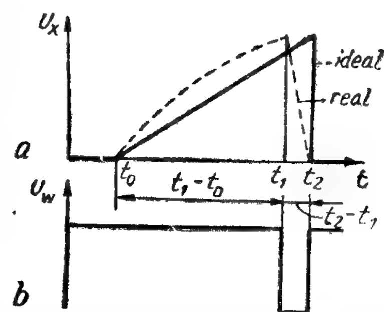


Fig. 12.6. Forma reală și forma ideală a tensiunii $u_x(a)$; tensiunea care trebuie aplicată cilindrului Wehnelt $U_w(b)$.

Datorită acestor diferențe între forma reală și forma ideală a tensiunii u_x, apar unele neajunsuri, care trebuie să fie minimizate:

— din cauza neliniarității, spotul nu se deplasează pe ecran cu viteză constantă și, ca urmare, curba ce apare pe ecran este deformată față de curba reală;

— deoarece tensiunea u_x nu scade instantaneu, în intervalul de timp t_2-t_1, cînd tensiunea scade, spotul se întoarce de la dreapta la stînga descriind pe ecran o linie de întoarcere care nu face parte din semnal. Pentru a evita apariția liniei de întoarcere, în intervalul de timp t_2-t_1 se aplică cilindrului Wehnelt un impuls negativ (fig. 12.6, *b*) care blochează fasciculul de electroni și spotul se stinge. În acest mod, pe ecran nu se mai vede linia de întoarcere, dar, în același timp, nu se mai vede nici partea finală a oscilogramei. Pentru ca partea care se pierde din oscilogramă să fie mai mică, este necesar ca intervalul de timp t_2-t_1 în care tensiunea u_x scade să fie mult mai mic decît intervalul de timp t_1-t_0.

O altă condiție pe care trebuie să o îndeplinească baza de timp, pentru ca imaginea să fie stabilă pe ecran, este ca *frecvența sa să fie un submultiplu întreg al frecvenței semnalului de vizualizat:*

$$f_{BT}=\frac{1}{n}f_s;\quad n=1,\ 2,\ 3,\ \ldots \tag{12.4}$$

● **Schema de principiu pentru generarea tensiunii bază de timp.** Ținînd seama de condițiile impuse tensiunii u_x, s-au realizat diferite construcții de generatoare bază de timp. În principiu însă, toate schemele adoptate se bazează pe încărcarea și descărcarea unui condensator.

Modelul cel mai simplu al generatorului bazei de timp este reprezentat în figura 12.7. La închiderea întreruptorului K_1, la momentul $t=t_0$, condensatorul C se încarcă de la sursa E prin rezistența R, după o lege exponențială (fig. 12.8):

$$U_C=E\left(1-e^{-\frac{t}{RC}}\right). \tag{12.5}$$

Încărcarea este cu atît mai lentă cu cît constanta de timp $\tau_1=RC$ este mai mare.

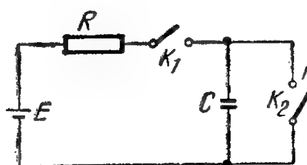


Fig. 12.7. Modelul unui generator bază de timp.

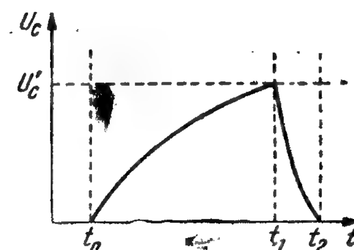


Fig. 12.8. Variația tensiunii la bornele condensatorului C.

La momentul $t = t_1$, cînd tensiunea pe condensator are valoarea U'_C, se închide întrerupătorul K_2, ce prezintă o rezistență de contact r de valoare mică. Începînd din acest moment, condensatorul C se descarcă pe rezistența de contact r, de valoare mică, conform relației:

$$U_C = U'_C e^{-\frac{t}{rC}}. \tag{12.6}$$

Descărcarea va fi cu atît mai rapidă cu cît constanta de timp $\tau_2 = rC$ este mai mică. Pentru satisfacerea condiției $(t_2 - t_1) \ll (t_1 - t_0)$, este necesar ca $r \ll R$.

În cazul în care generatorul bază de timp funcționează periodic, această variație a tensiunii pe condensatorul C trebuie să se repete periodic, adică comutatorul K_2 să se închidă și să se deschidă periodic, cu o frecvență care să satisfacă relația (12.4). În practică, comutatorul K_2 este realizat cu diferite dispozitive electronice.

● **Reglarea vitezei de deplasare a spotului (reglarea frecvenței bazei de timp).** Durata unui dinte de ferăstrău corespunde intervalului de timp $t_1 - t_0$ în care tensiunea pe condensator crește pînă la valoarea U'_C necesară devierii fasciculului de electroni, astfel încît spotul să se deplaseze pe tot ecranul de la stînga la dreapta. Ea depinde de constanta de timp $\tau_1 = RC$. Dacă se variază valorile lui R și C, se pot obține durate diferite pentru dinții de ferăstrău (fig. 12.9). De obicei, această durată se variază în trepte cu un comutator ce introduce în circuit condensatoare de diferite valori și fin prin variația continuă a rezistenței R. Comutatorul este calibrat în ms/cm sau µs/cm, corespunzător timpului necesar ca spotul să se deplaseze pe direcția orizontală cu 1 cm. Această calibrare este valabilă numai dacă reglajul fin este la maxim.

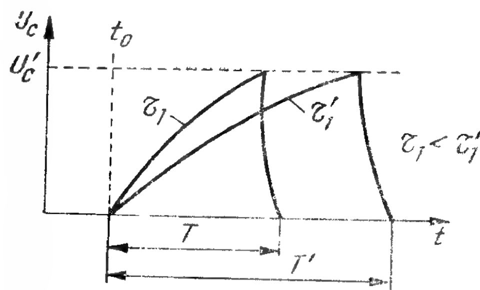


Fig. 12.9. Variația duratei dinților de ferăstrău în funcție de valoarea constantei de timp $\tau = RC$

În cazul funcționării periodice, se poate considera că durata unui dinte de ferăstrău corespunde unei perioade a semnalului generat de baza de timp, deci variind durata dinților de ferăstrău se variază frecvența bazei de timp.

● **Liniarizarea tensiunii generate de baza de timp.** După cum reiese din relația (12.5) în cazul încărcării unui condensator de la o sursă de tensiune constantă E, tensiunea la bornele condensatorului variază după o lege exponențială, deci prezintă o variație neliniară. Pentru a se evita acest neajuns, este necesar ca încărcarea condensatorului C să se facă sub curent constant.

Exprimînd tensiunea pe condensator prin raportul între cantitatea de sarcină electrică Q ce se acumulează pe condensator și capacitatea C, se obține:

$$U_C = \frac{Q}{C}, \tag{12.7}$$

În cazul încărcării sub curent constant, $Q = It$ și ținînd seama că I și C sînt constante, se poate scrie:

$$U_C = \frac{It}{C} = Kt. \tag{12.8}$$

Relația (12.8) arată că în cazul încărcării sub curent constant variația tensiunii pe condensator în funcție de timp este liniară.

În osciloscoapele moderne, încărcarea condensatorului sub curent constant se realizează fie folosind amplificatoare operaționale integratoare, fie folosind generatoare de curent constant cu tranzistoare.

4. OSCILATOARE CU DOUĂ SPOTURI SAU CU DOUĂ CANALE

Pentru vizualizarea simultană a două semnale, se construiesc *osciloscoape cu două spoturi* sau *osciloscoape cu două canale*.

● **Osciloscoapele cu două spoturi** utilizează tuburi catodice speciale, care conțin în același balon două sisteme electronooptice, adică sînt prevăzute cu două tunuri de electroni și cu cîte două dispozitive de deflexie pentru X și Y. Cele două sisteme electronooptice sînt *comandate independent*, prin circuite asemănătoare cu cele ale unui osciloscop obișnuit, cu excepția generatorului bază de timp care este comun.

● **Osciloscoapele cu două canale** folosesc pentru vizualizarea simultană a două semnale o metodă mai simplă și mai elegantă. Ele sînt prevăzute cu un tub catodic obișnuit și cu un *comutator electronic* (fig. 12.10).

Comutatorul electronic este un circuit electronic care primește la două intrări distincte două semnale diferite pe care le comută succesiv pe plăcile de deflexie verticală ale unui tub catodic. Pe ecranul tubului, datorită persistenței luminoforului, apar simultan oscilogramele celor două semnale. Comutarea se face fie cu frecvența bazei de timp (în timpul unui dinte de ferăstrău se vizualizează un semnal, iar în timpul următorului dinte de ferăstrău — celălalt semnal), fie cu o frecvență mult mai mare.

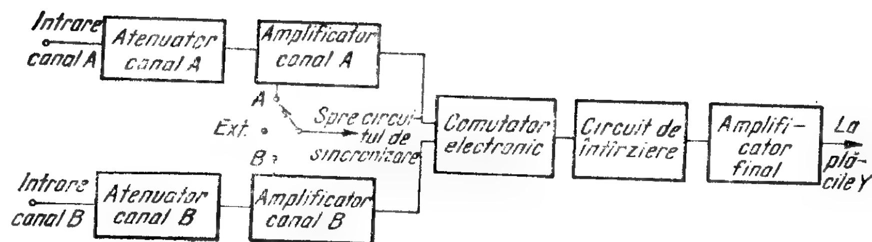


Fig. 12.10. Circuitele sistemului de deviație pe verticală la un osciloscop cu două canale.

C. MĂSURĂRI CU AJUTORUL OSCILOSCOPULUI

În afară de vizualizarea formei semnalelor, osciloscopul catodic mai are numeroase utilizări în tehnica măsurărilor electrice, electronice și magnetice.

1. MĂSURAREA TENSIUNILOR

Măsurarea tensiunilor cu osciloscopul catodic se bazează pe faptul că deviația spotului este proporțională cu amplitudinea tensiunii aplicate plăcilor de deflexie. Se pot utiliza diferite metode de măsurare.

a. METODA DIRECTĂ

Metoda directă se utilizează în cazul osciloscoapelor moderne, prevăzute cu ecran caroiat (împărțite în pătrate cu latura de obicei de 1 cm) și care au atenuatorul A_y etalonat în mv/cm sau v/cm.

Înainte de utilizare, *se recomandă să se verifice calibrarea ate-*
panoul frontal, de o tensiune de calibrare. Cu ajutorul unei sonde
cordon de legătură). se aplică tensiunea de calibrare la intrarea os-
nuatorului A_y. În aces scop, osciloscoapele dispun, la o bornă de pe
ciloscopului i se verifică dacă deviația obținută pe ecran corespunde indicației atenuatorului.

De exemplu, la osciloscopul tip E 0101 fabricat la I.E.M.I. București tensiunea de calibrare este de 2V. Se aplică această tensiune la intrarea a osciloscopului și se așază atenuatorul pe poziția 2V/cm. În acest caz, dacă reglajul amplificării este la maxim, pe ecran trebuie să apară o oscilogramă avînd înălțimea de 1 cm.

Modul de lucru. Se aplică semnalul de măsurat la intrarea Y, a osciloscopului, se controlează dacă deglajul amplificării este la maxim

și se reglează atenuatorul A_y și baza de timp astfel încît să se obțină o oscilogramă corect încadrată în ecran (fig. 12.11). Se măsoară cu ajutorul caroiajului de pe ecran înălțimea oscilogramei în centimetri și se înmulțește cu indicația atenuatorului, obținîndu-se astfel direct valoarea tensiunii măsurate.

De exemplu, în cazul oscilogramei din figura 12.11, dacă atenuatorul este pus pe poziția 0,5 V/cm, valoarea tensiunii este $U = 0{,}5 \times 2{,}4 = 1{,}2$ V.

b. METODA COMPARAȚIEI

Cînd osciloscopul nu are atenuatorul calibrat sau calibrarea nu mai este corectă, se poate folosi metoda comparației. La această metodă, tensiunea de măsurat, de o formă oarecare, se compară cu o tensiune sinusoidală de joasă frecvență, care poate fi măsurată cu un voltmetru obișnuit.

Modul de lucru. Se realizează montajul din figura 12.12. Cu comutatorul K pe poziția *1* se aplică la intrarea Y a osciloscopului tensiunea U_x de măsurat. Se reglează amplificarea și baza de timp pînă se obține o oscilogramă corect încadrată în ecran și se măsoară înălțimea l a oscilogramei.

Fără a interveni la reglajul amplificării, se trece comutatorul K pe poziția *2*, aplicîndu-se la intrarea Y a osciloscopului o tensiune sinusoidală de joasă frecvență. Aceasta se reglează pînă cînd oscilograma obținută pe ecran are aceeași înălțime l ca și în cazul vizualizării tensiunii U_x.

Cele două oscilograme avînd aceeași înălțime, înseamnă că amplitudinea tensiunii U_x este egală cu amplitudinea vîrf la vîrf a tensiunii sinusoidale.

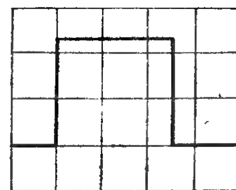


Fig. 12.11. Măsurarea directă a tensiunii cu osciloscopul catodic.

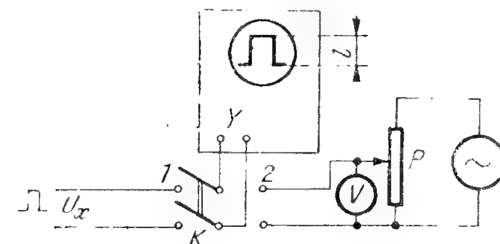


Fig. 12.12. Măsurarea tensiunii prin metoda comparației.

Tensiunea sinusoidală se măsoară cu voltmetrul V, care de obicei este etalonat în valori eficace. Dacă U este tensiunea citită pe voltmetru, atunci:

$$U_x = U_{vv} = 2U_{max} = 2\sqrt{2}\,U.$$

2. MĂSURAREA INTENSITĂŢII CURENTULUI ELECTRIC

Întrucît osciloscopul catodic funcţionează cu deflexie electrostatică, semnalele ce se aplică la intrarea lui sînt de natura unor tensiuni.

Pentru măsurarea intensităţii curentului cu osciloscopul catodic, se trece curentul de măsurat printr-o rezistenţă de valoare cunoscută şi se măsoară cu una dintre metodele studiate în paragraful precedent căderea de tensiune la bornele rezistenţei. Apoi, aplicînd legea lui Ohm, se calculează valoarea intensităţii curentului de măsurat.

3. MĂSURAREA INTERVALELOR DE TIMP

Măsurarea intervalelor de timp se poate realiza cunoscînd viteza de deplasare a spotului şi măsurînd pe ecran lungimea segmentului care corespunde intervalului de timp considerat.

Osciloscoapele moderne au baza de timp calibrată în ms/cm sau µs/cm, adică se indică pentru fiecare poziţie a comutatorului ce reglează în trepte frecvenţa bazei de timp, timpul necesar pentru ca spotul să se deplaseze pe direcţie orizontală cu un centimetru. Această calibrare este corectă numai dacă reglajul fin al bazei de timp este la maxim.

a. MĂSURAREA DURATEI UNUI SEMNAL

Pentru măsurarea duratei unui semnal, acesta se aplică la intrarea Y a osciloscopului şi se reglează amplificarea şi baza de timp pînă cînd se obţine o oscilogramă corect încadrată în ecran.

Se verifică dacă reglajul fin al bazei de timp este la maxim. Apoi se măsoară lăţimea semnalului pe ecran, în centimetri, şi se înmulţeşte cu indicaţia reglajului în trepte al bazei de timp, obţinîndu-se astfel durata semnalului de măsurat.

De exemplu, în cazul oscilogramei din figura 12.11, dacă reglajul în trepte al bazei de timp este pe poziţia 1 ms/cm şi lăţimea impulsului este de 2,5 cm, durata impulsului va fi $\tau = 2{,}5 \times 1 = 2{,}5$ ms.

În mod analog se poate măsura şi durata unei părţi din semnal, cum ar fi durata timpului de creştere a unui impuls (timpul în care semnalul creşte de la 10% la 90% din amplitudinea sa).

b. MĂSURAREA PERIOADEI UNUI SEMNAL

Pentru măsurarea perioadei, este necesar ca baza de timp să fie astfel reglată încît oscilograma să conţină cel puţin două perioade succesive ale semnalului. În acest caz, dacă reglajul fin al bazei de timp este la maxim, se măsoară pe ecran în centimetri distanţa între două treceri succesive ale semnalului prin aceeaşi valoare şi cu acelaşi sens de variaţie şi se înmulţeşte cu indicaţia reglajului în trepte al bazei de timp. În acest fel, se obţine direct perioada semnalului.

4. MĂSURAREA FRECVENŢELOR

Frecvenţa se poate măsura cu osciloscopul catodic, ***măsurînd perioada semnalului*** ca la punctul precedent şi apoi calculînd frecvenţa cu relaţia bine cunoscută: $f = \frac{1}{T}$. Această metodă nu asigură însă o precizie bună.

Măsurări mai precise se pot obţine folosind unele metode de comparaţie, cum ar fi: *metoda figurilor lui Lissajous*, *metoda modulării intensităţii spotului*, *metoda oscilogramelor duble* etc.

a. METODA FIGURILOR LUI LISSAJOUS

Dintre metodele de comparaţie, metoda figurilor lui Lissajous este cea mai frecvent folosită.

Lissajous, fizician francez (1822—1880), a studiat compunerea a două oscilaţii sinusoidale ale căror direcţii de oscilaţie sînt perpendiculare. El a constatat că dacă raportul frecvenţelor celor două oscilaţii este un număr raţional $\left(\frac{f_x}{f_y} = \frac{m}{n}\right.$, m şi n fiind numere întregi$\left.\right)$, se obţin figuri a căror formă depinde de raportul frecvenţelor celor două oscilaţii şi de defazajul dintre ele (fig. 12.13).

Figurile lui Lissajous se pot obţine pe ecranul osciloscopului catodic dacă se aplică ambelor perechi de plăci de deflexie ***tensiuni sinusoidale***.

Modul de lucru. Pentru măsurarea frecvenţei f_x a unui semnal, acesta se aplică unei perechi de plăci de deflexie a osciloscopului, iar la cealaltă pereche de plăci de deflexie se aplică un semnal de la un generator de frecvenţă variabilă şi cunoscută, f_0 (fig. 12. 14, *a*). Se variază frecvenţa f_0 pînă cînd pe ecran se obţine una dintre figurile lui Lissajous. Pentru a determina raportul corespunzător figurii obţinute pe ecran, se intersectează figura cu două drepte, una orizontală (x) şi una verticală (y) şi se numără punctele de intersecţie ale figurii cu cele două drepte (fig. 12.14, *b*) Pentru orice figură a lui Lissajous raportul între numărul de intersecţii n_x cu dreapta orizontală şi numărul de intersecţii n_y cu dreapta verticală este egal cu raportul între frecvenţa semnalului aplicat plăcilor Y şi frecvenţa semnalului aplicat plăcilor X:

$$\frac{n_x}{n_y} = \frac{f_y}{f_x}. \qquad (12.7)$$

Cunoscînd raportul corespunzător figurii obţinute pe ecran şi frecvenţa f_0, se poate determina frecvenţa f_x folosind relaţia (12.7).

○ **Observaţie.** De obicei, se variază f_0 pînă cînd se obţin figurile corespunzătoare egalităţii celor două frecvenţe $\left(\frac{f_x}{f_y} = 1\right)$.

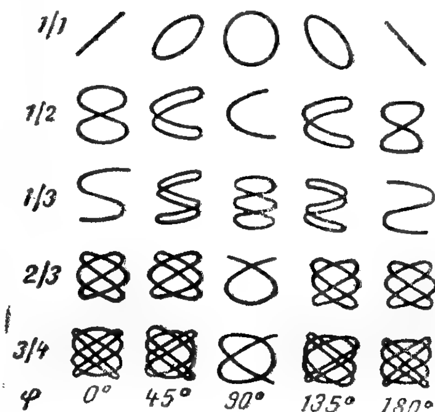


Fig. 12.13. Figurile lui Lissajous.

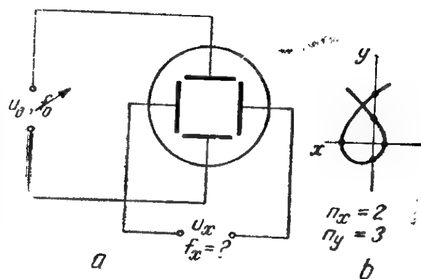


Fig. 12.14. Măsurarea frecvenţelor cu figurile lui Lissajous.

5. MĂSURAREA DEFAZAJELOR

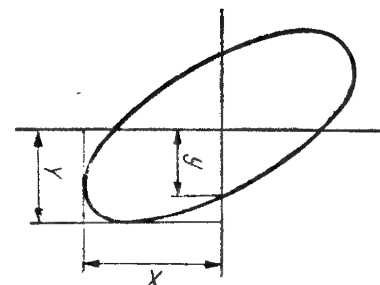


Fig. 12.15. Măsurarea defazajelor.

În paragraful precedent s-a arătat că figurile lui Lissajous depind de raportul frecvenţelor a două oscilaţii dar şi de defazajul dintre ele.

Pentru determinarea defazajului dintre două semnale de aceeaşi frecvenţă, acestea se aplică celor două perechi de plăci de deflexie ale osciloscopului. În acest caz:

$$u_x = U_{x\,max} \sin \omega t; \qquad (12.8)$$
$$u_y = U_{y\,max} \sin (\omega t + \varphi).$$

Deviaţiile obţinute pe ecran fiind în fiecare moment proporţionale cu tensiunile aplicate, vor varia după expresiile:

$$x = X \sin \omega t; \qquad (12.9)$$
$$y = \omega \sin (\omega t + \varphi),$$

unde X şi ω sînt deviaţiile maxime. Pe ecran apare o figură de forma unei elipse, care pentru $\varphi = 0$ şi $\varphi = \pi$ degenerează într-o linie înclinată, iar pentru $\varphi = \frac{\pi}{2}$ şi $\varphi = \frac{3\pi}{2}$ devine un cerc (v. fig. 12.13).

În cazul general, dacă elipsa este bine centrată pe ecran (fig. 12.15), defazajul se poate determina prin raportul între deviaţia maximă pe verticală, Y, şi deviaţia y corespunzătoare punctului în care elipsa intersectează axa verticală a ecranului. În acest punct $x = 0$, deci $\sin \omega t = 0$; $\omega t = 0$ şi $y = Y \sin \varphi$. Din această relaţie se deduce:

$$\sin \varphi = \frac{y}{Y}. \qquad (12.10)$$

○ **Observaţie.** *În cazul în care se dispune de un osciloscop cu două canale* (cu comutator electronic), măsurarea defazajului dintre două semnale se poate face mai comod vizualizînd simultan cele două semnale.

6. VIZUALIZAREA CARACTERISTICILOR

O caracteristică este reprezentarea grafică a dependenţei dintre două mărimi ce caracterizează un aparat, un dispozitiv sau un material (de exemplu: caracteristica unei diode, $i = f(u)$; caracteristicile tranzistoarelor, $I_C = f(U_{CE})$; caracteristicile de magnetizare ale materialelor feromagnetice, $B = f(H)$ etc.).

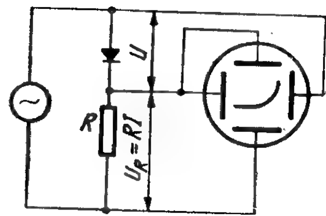


Fig. 12.16. Montajul pentru vizualizarea caracteristicii $I = f(U)$ a unei diode.

La reprezentarea grafică a caracteristicilor se folosesc două axe rectangulare. Deplasarea spotului la osciloscop se face de asemenea după două axe rectangulare, iar deviațiile sînt proporționale cu tensiunile ce se aplică celor două perechi de plăci de deflexie. Această analogie face posibilă vizualizarea pe ecranul osciloscopului catodic a oricărei curbe de tipul $A = f(B)$.

VIZUALIZAREA CARACTERISTICII UNEI DIODE

Caracteristica $I = f(U)$ a unei diode se poate vizualiza folosind montajul din figura 12.16. Plăcilor X li se aplică tensiunea U de la bornele diodei, iar plăcilor Y trebuie să li se aplice o tensiune proporțională cu curentul diodei. În acest scop, în serie cu dioda s-a montat o rezistență R la bornele căreia se culege tensiunea $U_R = RI$, care se aplică plăcilor Y.

Pentru a obține caracteristica $I = f(U)$, tensiunea U trebuie să ia diferite valori. De aceea, dioda trebuie alimentată în curent alternativ.

PROBLEME ȘI INTREBĂRI RECAPITULATIVE

1. De ce osciloscopul catodic este unul dintre cele mai răspîndite aparate electronice?
2. Care sînt reglajele de care depinde calitatea imaginii de pe ecran?
3. Care este principiul de funcționare al bazelor de timp?
4. Ce se întîmplă la un osciloscop, cînd se vede linia de întoarcere a spotului?
5. Dacă frecvența bazei de timp este de 1 000 Hz și lățimea ecranului este de 10 cm, pe ce poziție trebuie să fie comutatorul calibrat în ms/cm?
6. Dacă pe ecranul unui osciloscop apar cinci sinusoide și frecvența semnalului de vizualizat este 1 000 Hz, cît este frecvența bazei de timp?

Capitolul 13

VOLTMETRE ELECTRONICE

A. GENERALITĂȚI

Voltmetrele electronice sînt aparate destinate să măsoare tensiuni și conțin în construcția lor componente electronice.

Voltmetrele electronice au devenit necesare deoarece — deși mai simple și mai ieftine — voltmetrele neelectronice nu mai dau satisfacție în condițiile tehnicii moderne, ele prezentînd anumite limitări în funcționare (bandă de frecvență redusă, sensibilitate relativ mică, impedanța de intrare mică și dependentă de valoarea tensiunii măsurate, consum mare de putere de la circuitul de măsurat.).

1. UTILIZĂRI

Voltmetrele electrice au apărut și s-au dezvoltat o dată cu electronica însăși, urmărind nivelul de dezvoltare al acesteia și răspunzînd nevoilor impuse de aplicațiile ei în practică. Ca urmare, ele au fost astfel realizate încît să poată fi utilizate la:

— măsurarea tensiunilor în audio- și radiofrecvență;

— măsurarea tensiunilor la bornele unor impedanțe mari;

— măsurarea tensiunilor continue și alternative foarte mici;

— măsurarea tensiunilor în circuite alimentate de la sursa de mică putere.

2. PROPRIETĂȚI

Voltmetrele electronice prezintă o serie de caracteristici tehnice care le impun în măsurările de tensiuni din circuitele electronice:

— funcționează într-o bandă largă de frecvențe, de la curent continuu pînă la gigaherți;

— sensibilitatea lor poate fi foarte mare; în prezent se construiesc voltmetre electronice care pot măsura tensiuni începînd de la

ordinul nanovolţilor; de asemenea, există şi voltmetre electronice care pot măsura tensiuni foarte mari, de ordinul zecilor de kilovolţi;

— impedanţa de intrare este foarte mare. Ea poate fi considerată ca o rezistenţă de intrare de ordinul megohmilor în paralel cu o capacitate de intrare de ordinul picofarazilor. În unele variante constructive, rezistenţa de intrare poate atinge valori de ordinul miilor de megohmi;

— impedanţa de intrare nu depinde de valoarea tensiunii măsurate, ea rămînînd de obicei aceeaşi cînd se schimbă intervalul de măsurare;

De exemplu, un voltmetru cu mai multe intervale de măsurare prezintă o rezistenţă de intrare de 10 MΩ şi pe scara de 1 V, şi pe scara de 300 V.

— consumul de putere de la circuitul de măsurat este foarte mic.

Voltmetrele electronice prezintă şi unele *neajunsuri*. Astfel, precizia voltmetrelor electronice, cu excepţia celor numerice, nu este foarte bună datorită diferitelor influenţe (variaţii de tensiune, de temperatură) pe care le suferă în funcţionarea lor componentele electronice. În general, voltmetrele electronice se încadrează în clasele de precizie 1—5. Un alt dezavantaj este faptul că voltmetrele electronice necesită o sursă de alimentare.

3. CLASIFICARE

Voltmetrele electronice se realizează într-o varietate de tipuri constructive, ceea ce face utilă o clasificare a lor.

- **După felul indicaţiei,** voltmetrele electronice pot fi:
— *voltmetre analogice,* la care indicaţia variază continuu;
— *voltmetre digitale,* la care indicaţia se exprimă numeric.
- **După felul curentului,** se deosebesc:
— *voltmetre electronice de curent continuu;*
— *voltmetre electronice de curent alternativ;*
— *voltmetre electronice de curent continuu şi alternativ.*
- **După componentele electronice folosite,** pot fi:
— *voltmetre electronice cu diode;*
— *voltmetre electronice cu tranzistoare;*
— *voltmetre electronice cu tuburi electronice;*
— *voltmetre electronice cu circuite integrate.*
- **După valoarea tensiunii măsurate,** se deosebesc:
— *voltmetre electronice* (0, 1 V — zeci de kilovolţi);
— *milivoltmetre electronice* (mV — sute de volţi);
— *microvoltmetre electronice* (μV — sute de volţi);
— *nanometre electronice* (nV — sute de volţi).

- **După relaţia între indicaţie şi valoarea tensiunii măsurate,** se pot întîlni:
— *voltmetre de valoare eficace* ($\alpha = KU$);
— *voltmetre de valoare medie* ($\alpha = KU_{med}$);
— *voltmetre de valoare maximă* ($\alpha = KU_{max}$).
- **După felul circuitului de intrare,** se construiesc:

— *voltmetre cu intrare liberă,* care măsoară şi componenta de curent continuu;

— *voltmetre cu intrarea blocată,* la care componenta de curent continuu este blocată cu un condensator montat în serie pe intrare, şi ca urmare, aceste voltmetre măsoară numai componentele de curent alternativ.

B. VOLTMETRE ELECTRONICE DE CURENT CONTINUU

Voltmetrele electronice de curent continuu sînt aparate destinate măsurării tensiunilor continue de la 0,1 V la 1 000 V. Folosind sonde de înaltă tensiune, utilizarea lor poate fi extinsă pînă la zeci de kilovolţi.

- **Principalele cerinţe** impuse acestor aparate sînt:
— impedanţă de intrare mare;
— erori cît mai mici;
— stabilitate în timp cît mai bună;
— gamă de măsurare cît mai mare.
- Pentru a satisface primele trei condiţii, voltmetrele electronice de curent continuu se realizează dintr-un amplificator de curent continuu şi un instrument magnetoelectric, conform **schemei bloc din figura 13.1,*a*.** Acest ansamblu nu poate lucra însă decît într-un interval foarte restrîns de tensiuni, de la zecimi de volt la cîţiva volţi.
- Pentru a acoperi un interval mai mare de măsurare, pînă la circa 1 000 V, se realizează **voltmetre electronice cu mai multe scări.** În acest caz, amplificatorul se calculează pentru cea mai mică scară, urmînd ca la aplicarea unei tensiuni mai mari la intrare, aceasta să fie redusă corespunzător cu ajutorul unui divizor de tensiune.

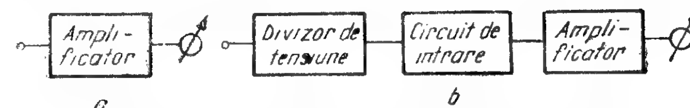


Fig. 13.1. Scheme bloc de voltmetre electronice de c.c.

În scopul obţinerii unei impedanţe mari de intrare, înaintea amplificatorului se prevede uneori un circuit de intrare ca în figura 13.1,*b*.

Voltmetrele electronice de curent continuu pot fi realizate cu tuburi electronice sau cu tranzistoare. În continuare vor fi prezentate cîteva tipuri de voltmetre electronice cu tranzistoare.

1. VOLTMETRU ELECTRONIC DE C.C. CU UN TRANZISTOR

Voltmetrele fiind aparate destinate să măsoare tensiuni, indicaţia lor trebuie să fie proporţională cu tensiunea măsurată:

$$\alpha = KU.$$

● **Cel mai simplu voltmetru electronic de curent continuu** ar putea fi realizat *cu un tranzistor în montaj emitor comun*, ca în figura 13.2. Tensiunea U_x aplicată la intrare produce în circuitul de intrare un curent I_B ce se aplică pe baza tranzistorului *T*. Dacă se notează cu R_{iT} rezistenţa de intrare a tranzistorului, curentul I_B va fi:

$$I_B = \frac{U_x}{R_B + R_{iT}}. \tag{13.1}$$

Conform ecuaţiei fundamentale a tranzistorului în montaj emitor comun ($I_C = \beta I_B + I_{CEO}$), curentul din colector I_C este de β ori mai mare decît curentul din bază, β fiind factorul de amplificare în curent în montaj emitor comun şi avînd valori de ordinul zecilor sau sutelor.

Înlocuind în ecuaţia fundamentală expresia lui I_B din relaţia (13.1), se obţine:

$$I_C = \beta \frac{U_x}{R_B + R_{iT}} + I_{CEO}. \tag{13.2}$$

Miliampermetrul montat în colectorul tranzistorului va avea indicaţia proporţională cu I_C:

$$\alpha = K_1 I_C = K_1 \beta \frac{U_x}{R_B + R_{iT}} + I_{CEO}.$$

Notînd $K_1 \beta \frac{1}{R_B + R_{iT}} = K$ şi considerînd $I_{CEO} \ll I_C$, se poate scrie:

$$\alpha = KU_x.$$

Deoarece aparatul indicator montat în colectorul tranzistorului are indicaţii proporţionale cu tensiunea de măsurat, circuitul studiat poate funcţiona ca voltmetru de curent continuu.

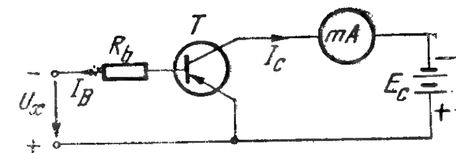


Fig. 13.2. Voltmetru electronic de c.c. cu un tranzistor.

● Voltmetrul prezentat în figura 13.2 este foarte simplu, dar prezintă o serie de **neajunsuri.** Astfel, în relaţia (13.2) se observă că în lipsa unei tensiuni aplicate la intrare, deci cînd $U_x = 0$, respectiv $I_B = 0$, curentul din colector nu este zero, miliampermetrul *mA* indicînd *curentul rezidual* I_{CEO}. Un alt dezavantaj este faptul că *funcţionarea tranzistorului este influenţată de variaţiile de temperatură şi de variaţiile tensiunii de alimentare.* În plus, *rezistenţa de intrare*

$$R_i = \frac{U_x}{I_B} = R_B + R_{iT} \tag{13.3}$$

este mică, de ordinul sutelor de kiloohmi, din cauza valorii mici a rezistenţei de intrare a tranzistorului (în cazul montajului emitor comun — de ordinul kiloohmilor).

Voltmetrele electronice moderne sînt realizate după scheme electrice mai complexe, în scopul eliminării dezavantajelor menţionate mai sus şi obţinerii unor performanţe ridicate. Ele se realizează cu tranzistoare cu siliciu sau cu circuite integrate.

● **Pentru obţinerea unei rezistenţe de intrare de valoare mare,** *etajul de intrare* al voltmetrelor electronice este de obicei *de tipul repetor pe emitor* (fig. 13.3). În cazul unui astfel de etaj, rezistenţa de intrare este de aproximativ (1 + β) ori mai mare decît rezistenţa R_E montată în emitor:

$$R_i = h_{11e} + (1 + \beta) R_E \tag{13.4}$$

unde h_{11e} este rezistenţa de intrare a tranzistorului în montaj emitor comun şi are valori de ordinul kiloohmilor. Avînd în vedere că β are valori de ordinul zecilor sau sutelor şi că rezistenţa R_E din emitor poate fi mai mare, cel puţin de ordinul kiloohmilor, se observă că rezistenţa de intrare a etajului repetor este mult mai mare decît rezistenţa de intrare a tranzistorului.

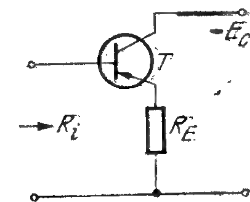


Fig. 13.3. Montajul repetor pe emitor.

○ **Notă.** În voltmetrele electronice moderne, deseori, în locul tranzistoarelor bipolare se utilizează tranzistoare cu efect de cîmp, care asigură o rezistență de intrare foarte mare.

2. VOLTMETRE ELECTRONICE DE C.C. ÎN PUNTE

Pentru compensarea curentului rezidual, în construcția voltmetrelor electronice se pot folosi scheme în punte.

● În figura 13.4 este reprezentată **schema de principiu a unui voltmetru electronic în punte, cu un singur tranzistor.** Tranzistorul care are rolul de amplificator de curent continuu este montat într-unul dintre brațele punții, iar instrumentul indicator — pe una dintre diagonale.

● **Funcționarea.** *În lipsa tensiunii de măsurat* ($U_x = 0$), puntea se echilibrează cu ajutorul rezistenței variabile R_3 și prin instrumentul indicator nu trece nici un curent. *Aplicînd la intrare o tensiune U_x diferită de zero,* se modifică curentul de colector al tranzistorului, ceea ce duce la dezechilibrarea punții și la apariția unui curent prin miliampermetrul *mA*, curent care depinde de tensiunea U_x aplicată la intrare.

● Voltmetrele electronice în punte, cu un singur tranzistor, nu asigură o stabilitate bună în timp, datorită influențelor variațiilor de temperatură și variațiilor tensiunii de alimentare asupra tranzistorului. Pentru înlăturarea acestui neajuns, se folosesc **montaje simetrice cu două tranzistoare** (fig. 13.5). Dacă tranzistoarele se aleg astfel încît să aibă caracteristici cît mai asemănătoare, datorită montajului simetric variațiile în funcționarea celor două tranzistoare se compensează, obținîndu-se astfel o bună stabilitate.

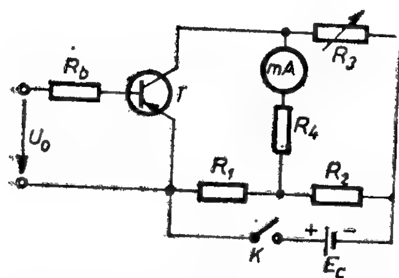


Fig. 13.4. Voltmetru electronic de c.c. în punte, cu un tranzistor.

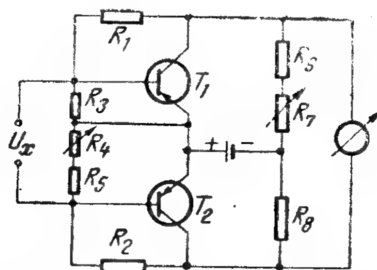


Fig. 13.5. Voltmetru electronic de c.c. în punte cu două tranzistoare.

C. VOLTMETRE ELECTRONICE DE CURENT ALTERNATIV

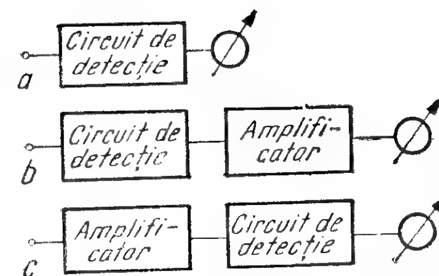


Fig. 13.6. Schema bloc de voltmetre electronice de c.a.

Voltmetrele electronice de curent alternativ sînt formate în principiu din două părți distincte: *partea de detecție,* care transformă semnalul alternativ de măsurat într-un semnal continuu proporțional cu acesta, și *partea de măsurare propriu-zisă.*

Cele mai simple voltmetre electronice de curent alternativ se pot realiza dintr-un circuit de detecție și un instrument indicator magnetoelectric, ca în figura 13.6, *a*.

Pentru a obține rezistențe mari de intrare, este necesar ca în circuitul de detecție să se folosească rezistențe foarte mari, de ordinul megohmilor sau zecilor de megohmi, ceea ce determină un curent foarte mic prin aparatul de măsurat, care în consecință trebuie să fie foarte sensibil. Pentru a evita folosirea unui astfel de aparat, care este foarte costisitor, voltmetrele electronice de curent alternativ sînt prevăzute de obicei și cu un *amplificator* care poate fi dispus înainte (fig. 13.6, *b*) sau după circuitul de detecție (fig. 13.6, *c*).

Pentru obținerea unor aparate **cu mai multe intervale de măsurare**, se folosesc divizoare de tensiune, iar pentru asigurarea unor **impedanțe de intrare foarte mari**, înaintea amplificatoarelor se pot folosi circuite de intrare realizate cu montaje repetor pe emitor sau cu tranzistoare cu efect de cîmp.

1. VOLTMETRE ELECTRONICE DE C.A. CU DIODE FĂRĂ AMPLIFICARE

Voltmetrele electronice fără amplificare se construiesc cu diode cu vid sau semiconductoare, care realizează funcția de detecție. Aceste voltmetre se utilizează rar în practică, dar circuitele de detecție cu diode sînt folosite frecvent în voltmetrele cu amplificare.

Voltmetrele electronice cu diode pot măsura, în mod obișnuit, valori medii ale tensiunii sau valori de vîrf (maxime).

a. VOLTMETRE ELECTRONICE CU DIODE, DE VALORI MEDII

Voltmetrele de valori medii cu diode sînt formate **dintr-un instrument** indicator magnetoelectric, o rezistență *R* de valoare **foarte** mare și o diodă. Dioda poate fi montată în serie (fig. 13.7, *a*) sau în

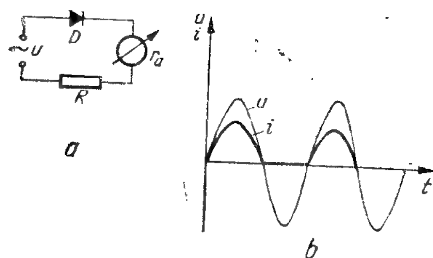


Fig. 13.7. Voltmetre de valori medii cu diode.

paralel față de rezistența R și de instrumentul indicator. Varianta în paralel nu se folosește în practică, întrucît în una dintre alternanțe, cînd dioda conduce, scurtcircuitează intrarea voltmetrului, deci micșorează foarte mult rezistența de intrare.

În cazul variantei serie, dacă se aplică la intrare o tensiune alternativă $u = f(t)$, *în timpul alternanței în care pe anodul diodei se aplică o tensiune pozitivă,* aceasta conduce și prin circuit va trece un curent a cărui intensitate i va urmări variațiile tensiunii aplicate la intrare (fig. 13.7, *b*):

$$i = \frac{u}{R + r_a + r_d} \cong \frac{u}{R}. \qquad (13.5)$$

În relația (13.5) s-a notat cu r_a rezistența instrumentului indicator iar cu r_d — rezistența diodei în stare de conducție. Ambele rezistențe fiind foarte mici, se pot neglija față de R.

Cînd se schimbă alternanța și pe anodul diodei se aplică o tensiune negativă, aceasta nu conduce și, în consecință, curentul prin circuit este nul. Deci, la aplicarea unei tensiuni alternative la intrarea voltmetrului, prin instrumentul indicator va trece un curent pulsatoriu. Cuplul activ care ia naștere în aparatul magnetoelectric este proporțional cu acest curent dar, datorită inerției, echipajul mobil nu poate urmări variațiile cuplului activ și va fi acționat de un cuplu mediu proporțional cu valoarea medie a intensității curentului. Ca urmare, indicația aparatului magnetoelectric este proporțională cu valoarea medie a intensității curentului din circuit, și conform relației (13.5), și cu valoarea medie a tensiunii aplicate la intrare:

$$\alpha = KI_{med} = K\frac{U_{med}}{R}. \qquad (13.6)$$

b. VOLTMETRE ELECTRONICE CU DIODE, DE VALORI MAXIME (DE VÎRF)

Voltmetrele de valori maxime cu diode se caracterizează prin existența unui condensator C, care se încarcă rapid prin diodă cînd acesta conduce și se descarcă foarte încet cînd dioda este blocată, menținînd

la bornele sale o tensiune aproximativ egală cu valoarea maximă a tensiunii măsurate.

Și în acest caz se pot întîlni două variante, *cu dioda în serie cu instrumentul indicator* (fig. 13.8, *a*) sau *cu dioda în paralel* (fig. 13.8, *b*). De această dată, ambele variante se folosesc în practică.

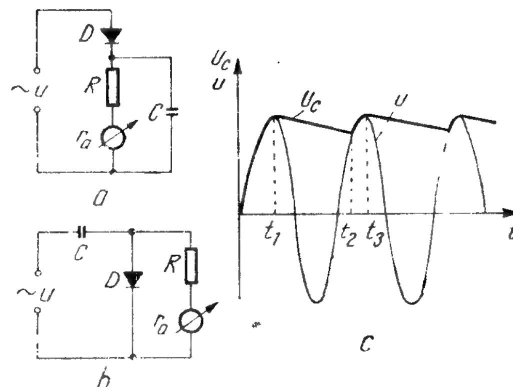


Fig. 13.8. Voltmetre de valori maxime, cu diode.

● **În cazul variantei serie,** dacă se aplică o tensiune alternativă $u = f(t)$ la intrarea montajului, *în timpul alternanței pozitive* aplicate pe anodul diodei, dioda conduce și condensatorul C se încarcă prin rezistența de conducție a diodei care este de valoare mică. Constanta de timp de încărcare, $\tau_i = r_d C$ este mică și condensatorul se încarcă rapid, urmărind creșterea tensiunii de la intrare (fig. 13.8, *c*).

Cînd tensiunea de intrare începe să scadă, tensiunea pe condensator aplicată cu „+" pe catodul diodei, devine mai mare decît tensiunea pozitivă aplicată pe anod și, ca urmare, dioda fiind polarizată invers, se blochează (momentul $t = t_1$ pe diagrama din fig. 13.8, *c*). Din acest moment condensatorul C se descarcă prin instrumentul indicator și prin rezistența R. Deoarece rezistența R este de valoare foarte mare, constanta de timp de descărcare $\tau_d = RC$ este mare și condensatorul se descarcă lent, pînă cînd tensiunea aplicată la intrare devine din nou mai mare decît tensiunea U_C de pe condensator (momentul $t = t_2$). Începînd din acest moment, dioda este din nou polarizată direct și începe să conducă, condensatorul C se încarcă din nou pînă la valoarea maximă a tensiunii aplicate la intrare, apoi din nou tensiunea alternativă începe să scadă, U_C devine mai mare decît u, dioda se blochează, condensatorul se descarcă lent, și în acest fel fenomenul se repetă.

Pentru o constantă de timp $RC \gg T_{max}$ (T_{max} fiind perioada corespunzătoare celor mai joase frecvențe la care se folosește voltmetrul), între două alternanțe pozitive condensatorul se descarcă foarte puțin și tensiunea la bornele lui rămîne aproximativ egală cu valoarea maximă a tensiunii de măsurat. În acest caz, intensitatea curentului prin instrumentul indicator va fi:

$$I = \frac{U_C}{r_a + R} \cong \frac{U_{max}}{R}. \qquad (13.7)$$

În relația (13.7) s-au făcut aproximațiile $R \gg r_a$ (r_a fiind rezistența aparatului indicator) și $U_C \cong U_{max}$.

● **Varianta constructivă cu dioda în paralel** are o funcționare asemănătoare, care conduce la aceleași concluzii ca și în cazul variantei serie.

c. VOLTMETRE ELECTRONICE DE VALORI EFECTIVE

În activitatea practică se folosesc rar voltmetrele gradate în valori medii sau în valori maxime. Cel mai frecvent se folosesc voltmetrele gradate în valori efective.

Se pot realiza și voltmetre, a căror indicație să fie proporțională cu valoarea efectivă a tensiunii, oricare ar fi forma de variație în timp a acesteia, dar schemele unor astfel de aparate sînt mai complicate decît cele ale voltmetrelor de valori medii sau de valori maxime. De aceea, în practică se folosesc voltmetrele de valori medii sau de valori maxime, care se gradează însă în valori efective.

○ **Atenție!** Această gradare nu este valabilă decît în cazul tensiunilor sinusoidale, în cazul altor forme de tensiuni ea ducînd la erori de măsurare.

În cazul unor tensiuni de formă sinusoidală, $u(t) = U_{max} \sin \omega t$, valoarea efectivă este $U = \frac{U_{max}}{\sqrt{2}}$ Valoarea medie pe o perioadă este zero, dar după detecție se obțin impulsuri corespunzătoare unei singure alternanțe. Valoarea medie pentru o alternanță este $U_{med} = \frac{U_{max}}{\pi}$. Pe baza proporționalității dintre valoarea maximă, valoarea medie și valoarea efectivă, voltmetrele de valori medii sau de valori maxime se pot grada în valori efective.

2. VOLTMETRE ELECTRONICE DE C.A. CU AMPLIFICARE

Așa cum s-a spus deja, pentru a evita utilizarea unor instrumente indicatoare foarte sensibile se construiesc voltmetre electronice care conțin un amplificator montat înaintea circuitului de detecție sau după acesta (v. fig. 13.6, *b* și 13.6, *c*).

● **Voltmetre cu circuitul de detecție la intrare.** Circuitul de detecție transformă semnalul de c.a. într-un semnal de c.c., care se măsoară apoi cu un voltmetru de c.c. realizat într-una dintre variantele studiate. De exemplu, voltmetrul electronic de c.a. reprezentat în figura 13.9 conține un circuit de detecție format din C_1R_1 și dioda D și un amplificator de c.c. realizat cu tranzistorul T

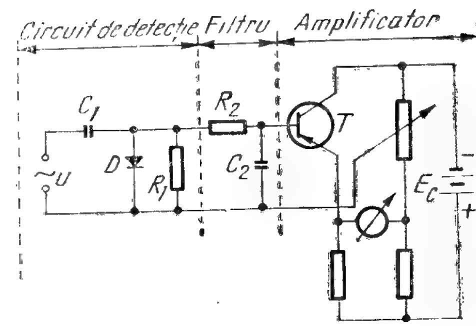


Fig.13.9 Voltmetru de c.a. cu amplificator.

repetor pe emitor, montat într-o schemă în punte. Instrumentul indicator este montat în circuitul de ieșire al amplificatorului. Între circuitul de detecție și amplificator este intercalat filtrul C_2R_2.

În cazul voltmetrelor care lucrează la frecvențe mari, circuitul de detecție împreună cu filtrul se realizează sub forma unui *cap de probă* ce se montează într-o carcasă separată, de dimensiuni mici și bine ecranată. Capul de probă se cuplează la voltmetrul propriu-zis printr-un cordon flexibil și poate fi astfel adus în imediata apropiere a punctului de măsurare, cu conexiuni foarte scurte.

● **Voltmetrele cu amplificator de c.a. la intrare** asigură o sensibilitate mai ridicată și o impedanță de intrare mare. După amplificare, semnalul alternativ este redresat și măsurat cu un instrument indicator magnetoelectric. Astfel se realizează milivoltmetre, microvoltmetre și nanovoltmetre electronice de c.a.

D. MILIVOLTMETRE ELECTRONICE

Milivoltmetrele electronice sînt aparate destinate să măsoare tensiuni foarte mici, de ordinul milivolților. Pentru a realiza acest lucru, milivoltmetrele conțin în construcția lor un amplificator care mărește tensiunea de măsurat pînă la o valoare suficientă pentru a fi aplicată unui circuit de măsurare.

Amplificatoarele folosite în milivoltmetre trebuie să prezinte:
— impedanță de intrare mare;
— amplificare mare;
— stabilitate bună în funcționare;
— distorsiuni neliniare foarte mici;
— zgomot de fond redus;
— bandă largă de frecvențe (pentru amplificatoarele de c.a.);
— derivă de curent mică (pentru amplificatoarele de c.c.).

Toate aceste condiții se îndeplinesc alegînd scheme electrice convenabile, care folosesc de obicei reacții negative puternice.

Pentru milivoltmetrele cu mai multe scări, amplificatorul se calculează pentru scara cea mai mică; în cazul măsurării unor tensiuni mai mari, acestea se reduc corespunzător cu un divizor de tensiune.

Milivoltmetrele pot fi de *curent alternativ* sau de *curent continuu.*

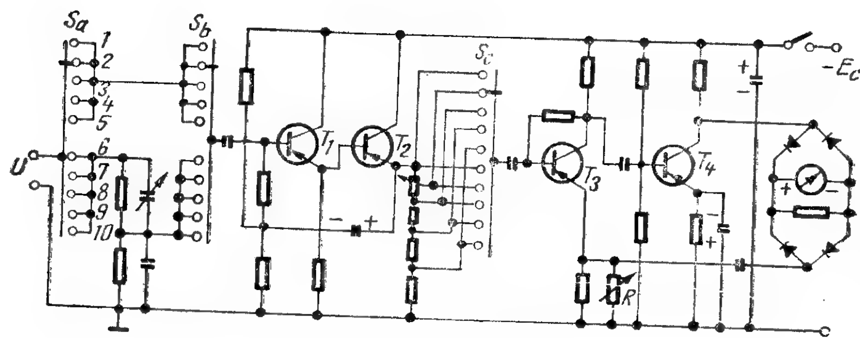


Fig. 13.10. Milivoltmetru de c.a.

1. MILIVOLTMETRE ELECTRONICE DE CURENT ALTERNATIV

Milivoltmetrele electronice de c.a. sînt în mod obişnuit de tipul amplificator-detector. Amplificatoarele de c.a. folosite în milivoltmetre nu ridică probleme speciale, realizîndu-se uşor cerinţele impuse unor astfel de amplificatoare.

În figura 13.10 este prezentată *schema unui milivoltmetru de c.a. care măsoară tensiuni de la 10 mV la 300 V, în 10 game, şi funcţionează în banda de frecvenţe de 20 Hz ... 3 MHz*. Impedanţa de intrare este de 500 kΩ pentru gamele inferioare şi 1 MΩ pentru gamele superioare. Pentru asigurarea unei impedanţe mari de intrare, amplificatorul are primele două etaje realizate sub forma a două repetoare pe emitor în cascadă. Divizorul de tensiune pentru primele cinci game (10 mV ... 1 V) este amplasat înaintea tranzistorului T_3 şi este comandat de comutatorul S_c. Pentru ultimele cinci game (3 V ... 300 V) se introduce o atenuare suplimentară de 300 ori cu comutatorul S_a, montat la intrarea milivoltmetrului.

Deoarece primele două tranzistoare în montaj emitor comun au o amplificare de aproximativ 1, amplificarea propriu-zisă se obţine cu tranzistoarele T_3 şi T_4.

Circuitul de detecţie, realizat cu o punte de patru diode semiconductoare, este montat la ieşirea amplificatorului. Aparatul magnetoelectric din diagonala punţii are indicaţiile proporţionale cu valoarea medie a tensiunii măsurate, dar este gradat în valori efective ale tensiunilor sinusoidale.

2. MILIVOLTMETRE ELECTRONICE DE CURENT CONTINUU

Milivoltmetrele electronice de c.c. necesită utilizarea unor amplificatoare de c.c. Acestea pot fi *cu cuplaj direct* sau *cu modulare-demodulare*.

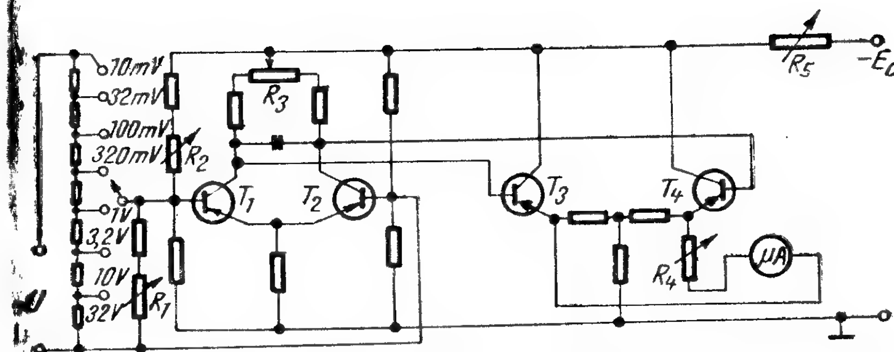


Fig. 13.11. Milivoltmetru de c.c. cu cuplaj direct.

a. MILIVOLTMETRE ELECTRONICE CU AMPLIFICATOARE CU CUPLAJ DIRECT

Amplificatoarele cu cuplaj direct au legăturile între etaje realizate direct sau prin rezistenţe. O problemă deosebită a acestui tip de amplificatoare este deriva zeroului, ce se manifestă prin deviaţia indicaţiei instrumentului indicator în jurul punctului de zero, în absenţa semnalului la intrare.

Datorită derivei, care se face simţită la variaţii de temperatură, milivoltmetrele cu cuplaj direct au o sensibilitate mai redusă.

Un *exemplu de milivoltmetru cu cuplaj direct* este reprezentat în figura 13.11. Aparatul are o impedanţă de intrare de 1 MΩ şi măsoară tensiuni între 10 mV şi 32 V, în opt game comandate de divizorul de tensiune prevăzut la intrare. Amplificatorul, de tip diferenţial, are două etaje realizate cu tranzistoare cu siliciu. Instrumentul indicator este montat între emitoarele celui de-al doilea etaj. Nulul se reglează cu potenţiometrele R_3 (intrare în scurtcircuit) şi R_2 (intrare în gol). Cu potenţiometrul R_4 se calibrează capătul de scară al instrumentului indicator.

b. MILIVOLTMETRE DE C.C. CU MODULARE-DEMODULARE

Pentru a evita deriva termică, se folosesc amplificatoare de c.c. cu modulare-demodulare. Schema bloc a unui milivoltmetru realizat cu un astfel de amplificator este reprezentată în figura 13.12. Semnalul de c.c. de măsurat este transformat într-un semnal de c.a. de un modulator comandat de un oscilator. Semnalul de c.a. obţinut la ieşirea modulatorului este amplificat cu un amplificator de c.a., care se realizează mult mai uşor decît un amplificator de c.c. şi fără derivă

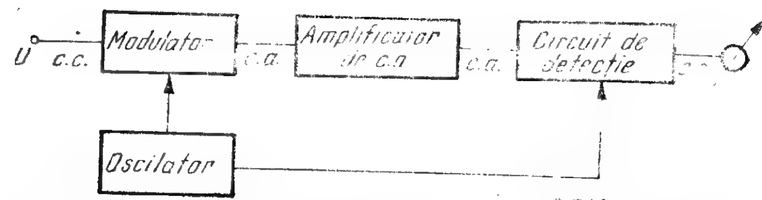


Fig. 13.12. Schema bloc a unui milivoltmetru de c.c. cu modulare-demodulare.

a zeroului. După amplificare se face o demodulare cu un circuit de detecţie care transformă semnalul de c.a. amplificat într-un semnal de c.c. Circuitul de detecţie funcţionează sincron cu modulatorul, fiind comandat de acelaşi oscilator. Semnalul de c.c. obţinut după detecţie se măsoară cu un instrument indicator magnetoelectric.

E. MULTIMETRE ELECTRONICE

Multimetrele electronice sînt *aparate care conţin componente electronice şi permit măsurarea mai multor mărimi electrice.* Ele se mai numesc şi *voltmetre electronice universale*, deoarece construcţia şi funcţionarea lor sînt, de fapt, cele ale unui voltmetru electronic.

● **Un multimetru conţine** de obicei un voltmetru electronic de c.c. cu mai multe intervale de măsurare. Cu ajutorul unor circuite auxiliare, aparatul poate măsura şi alte mărimi. Astfel, prin introducerea unui circuit de detecţie voltmetrul poate fi folosit şi *la măsurarea tensiunilor alternative.* Circuitul de detecţie este introdus de un comutator care alege funcţionarea în c.c. sau în c.a.

Pentru măsurarea rezistenţelor se utilizează de obicei o metodă de comparaţie: se măsoară cu voltmetrul căderea de tensiune de la bornele rezistenţei de măsurat în comparaţie cu căderea de tensiune de la bornele unor rezistenţe etalon.

Unele aparate sînt prevăzute cu circuite auxiliare *pentru măsurarea intensităţii curentului.* În acest caz, se măsoară cu voltmetrul căderea de tensiune la bornele unor rezistenţe cunoscute, parcurse de curentul de măsurat. Rezistenţele sînt astfel dimensionate încît căderea de tensiune la bornele lor să corespundă anumitor intervale de măsurare pentru intensitatea curentului.

● **Un exemplu de multimetru** este voltmetrul electronic universal tip E-0401 produs de I.E.M.I. — Bucureşti, Acest aparat permite:

— măsurarea tensiunilor continue de la 100 mV la 1 000 V, în 7 game;

— măsurarea tensiunilor alternative de la 100 mV la 300 V, în 6 game, în banda de frecvenţe 20 Hz ... 200 MHz;

— măsurarea rezistenţelor de la 2 Ω la 1 000 MΩ, în 7 game.

PROBLEME ŞI INTREBĂRI RECAPITULATIVE

1. Ştiind că există voltmetre neelectronice mai simple şi mai ieftine, de ce se construiesc totuşi voltmetrele electronice?
2. La voltmetrele electronice, consumul de putere de la circuitul de măsurat este foarte mic. De unde este luată totuşi energia necesară funcţionării acestor aparate?
3. Cum se poate obţine o rezistenţă de intrare foarte mare, la voltmetrele electronice de c.c.?
4. Care dintre voltmetrele cu diode studiate are intrarea blocată?
5. Un voltmetru de valori medii etalonat în valori efective poate măsura tensiuni de formă dreptunghiulară?

Capitolul 14

APARATE DE MĂSURAT DIGITALE

A. GENERALITĂŢI

După modul în care se exprimă rezultatul măsurării, aparatele de măsurat se împart în două mari categorii:

— *aparate de măsurat analogice*;

— *aparate de măsurat digitale* (sau *numerice*).

● **Aparatele de măsurat analogice** se caracterizează prin faptul că:

— mărimea perceptibilă de la ieşirea lor (indicaţia) variază continuu în funcţie de mărimea de măsurat (de exemplu, deplasarea unui indicator în faţa unei scări gradate);

— măsurarea este continuă (fără întreruperi);

— rezultatul măsurării poate lua orice valoare (indicatorul poate ocupa orice poziţie în faţa scării gradate).

● **Aparatele de măsurat digitale** se caracterizează prin faptul că:

— rezultatul măsurării este afişat direct sub formă numerică;

— măsurarea nu este continuă, ci discretă, efectuîndu-se la anumite intervale de timp;

— rezultatul măsurării nu poate lua orice valoare, deoarece indicaţia variază în trepte (între valori succesive indicate de un aparat de măsurat digital mai pot exista şi alte valori pe care aparatul nu le poate indica; de exemplu, între indicaţiile 35,725 şi 35,726 mai pot exista şi alte valori ca: 35,7251; 35, 7257, ...).

Aparatele de măsurat digitale au apărut şi s-au dezvoltat o dată cu dezvoltarea tehnicii de calcul şi a dispozitivelor de automatizare. Folosind cele mai noi cuceriri ale tehnicii moderne, aceste aparate au atins în prezent performanţe deosebit de înalte şi sînt în continuă perfecţionare. În acelaşi timp, tehnica modernă se dezvoltă şi se perfecţionează folosind din ce în ce mai mult aparatură de măsurat şi control digitală.

1. PROPRIETĂŢI

● Aparatele de măsurat digitale prezintă o serie de **calităţi** care au eterminat utilizarea lor din ce în ce mai largă în toate domeniile. ceste proprietăţi sînt:

— eliminarea erorilor de citire (erori de scară, erori subiective ntroduse de operator, erori de calibrare sau de paralaxă);

— precizie **foarte** bună, dependentă de numărul cifrelor afişate. u cît un aparat afişează mai multe cifre, cu atît precizia lui este ai bună. Se întîlnesc precizii de 10^{-5}—10^{-6};

— sensibilitate foarte bună; creşterea sensibilităţii este posibilă atorită *rezoluţiei* aparatului (rezoluţia este cea mai mică variaţie a ărimii de măsurat pe care o poate sesiza un aparat de măsurat diital şi corespunde intervalului dintre două indicaţii succesive);

— siguranţă mare de exploatare;

— rapiditate şi comoditate în efectuarea măsurărilor;

— viteză de măsurare mare, putînd realiza cîteva sute de măsuări pe secundă. Această proprietate permite ca un singur aparat să fie cuplat succesiv, prin intermediul unor selectoare, în mai multe puncte de măsurare ale unei instalaţii;

— posibilitatea înregistrării rapide şi precise a rezultatelor;

— posibilitatea programării şi automatizării procesului de măsurare;

— posibilitatea cuplării cu calculatoare sau cu alte dispozitive automate;

— posibilitatea transmiterii rezultatelor la distanţă, fără introducerea unor erori suplimentare.

● Faţă de aparatele analogice, aparatele de măsurat digitale prezintă şi unele **dezavantaje**, cum ar fi:

— complexitate mare;

— cost ridicat.

2. UTILIZĂRI

Datorită performanţelor lor, aparatele de măsurat digitale sînt utilizate la:

— măsurări de precizie în laboratoare;

— măsurări în procesele industriale automatizate;

— măsurări cu transmiterea rezultatelor la distanţă;

— măsurări cu prelucrarea rezultatelor pe calculator;

— măsurări cu înregistrări numerice în procesele industriale;

— controlul şi supravegherea centralizată în procesele industriale.

Opțiunea între aparatele de măsurat analogice și cele digitale se face în funcție de complexitatea procesului de măsurare; pentru procese simple, locale, cu număr redus de mărimi de măsurat și precizii reduse se aleg aparate analogice; pentru procese complexe, cu număr mare de mărimi de măsurat și precizii ridicate, se aleg aparate digitale.

3. PRINCIPIUL DE FUNCȚIONARE

Principiul de funcționare al aparatelor de măsurat digitale constă în transformarea mărimii de măsurat, de obicei analogice, în semnale digitale, care se prelucrează cu circuite specifice, și afișarea rezultatului sub formă numerică.

Transformarea mărimilor analogice, cu variație continuă, în semnale digitale se realizează cu ajutorul convertoarelor analog-digitale. Acestea sînt circuite care discretizează și codifică mărimea de măsurat.

● **Discretizarea** se face atît în timp, cît și în nivel.

Discretizarea în timp constă în eșantionarea mărimii de măsurat, măsurarea efectuîndu-se numai la anumite intervale de timp.

Discretizarea în nivel, sau *cuantificarea*, constă în transformarea variației continue a mărimii de măsurat într-o variație în trepte, care reproduce cu o anumită aproximație variația continuă (fig. 14.1). Aproximația este cu atît mai bună cu cît treapta de variație este mai mică și deci numărul de trepte — mai mare. În urma discretizării în nivel, mărimea de măsurat poate căpăta numai un număr limitat de valori distincte. În fiecare moment de măsurare, mărimea care se măsoară este aproximată cu valoarea celei mai apropiate trepte. De exemplu, pe diagrama din figura 14.1, la momentul t_2, mărimea A_2 este aproximată cu treapta a_3, la momentul t_4 mărimea A_4 — cu treapta a_5, iar la momentul t_6 mărimea A_6 — cu treapta a_7. Datorită acestei aproximații, există o diferență între valoarea mărimii și valoarea măsurată, care constituie *eroarea*

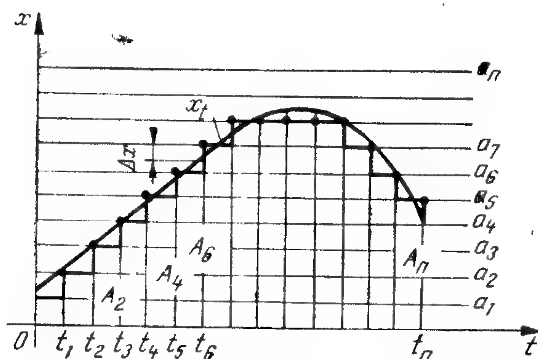


Fig. 14.1. Discretizarea mărimii continue, în timp și în nivel.

de discretizare. Această eroare nu depășește însă diferența între două trepte succesive, care reprezintă rezoluția aparatului.

Intervalul de eșantionare (timpul dintre două măsurări succesive) și treapta de nivel se aleg în funcție de cadența de măsurare dorită (numărul de măsurări pe secundă) și de eroarea maximă admisă.

● Prin **codare** se atribuie o valoare numerică treptei corespunzătoare mărimii măsurate și se exprimă această valoare într-un anumit sistem de numerație.

4. METODE DE MĂSURARE

Funcționarea și construcția aparatelor de măsurat digitale se bazează pe trei metode de măsurare: *măsurarea directă*, *măsurarea prin compensare* și *măsurarea mixtă*.

● **Măsurarea directă** constă în *convertirea mărimii de măsurat direct într-un număr de impulsuri proporțional cu valoarea sa, care prin codare este evaluată numeric și afișată*. Măsurarea directă se folosește pentru măsurarea numerică a timpului și frecvenței, care prin natura lor se pretează măsurării numerice. Măsurarea directă a altor mărimi analogice (tensiune, intensitate a curentului, rezistență electrică, temperatură etc.) se face transformînd (convertind) aceste mărimi în timp sau frecvență.

● **Măsurarea prin compensare** constă în *compararea mărimii de măsurat cu o mărime de referință de aceeași natură, variabilă în trepte sau prin aproximații succesive*. Mărimea de referință este generată în interiorul aparatului de măsurat numeric, de un convertor digital-analog, care înregistrează totodată valoarea mărimii generate. Cînd mărimea de referință devine egală cu mărimea de măsurat, valoarea ei se indică numeric.

● **Măsurarea mixtă** reprezintă *o combinație între măsurarea prin compensare și cea directă*, care asigură o viteză mare de măsurare și în același timp o sensibilitate și o precizie ridicată.

B. PĂRȚILE COMPONENTE ALE APARATELOR DE MĂSURAT DIGITALE

Deși sînt de o mare diversitate, aparatele de măsurat numerice sînt alcătuite dintr-o serie de blocuri funcționale comune, conectate între ele după o schemă bloc ca cea reprezentată în figura 13.2. Aceste blocuri

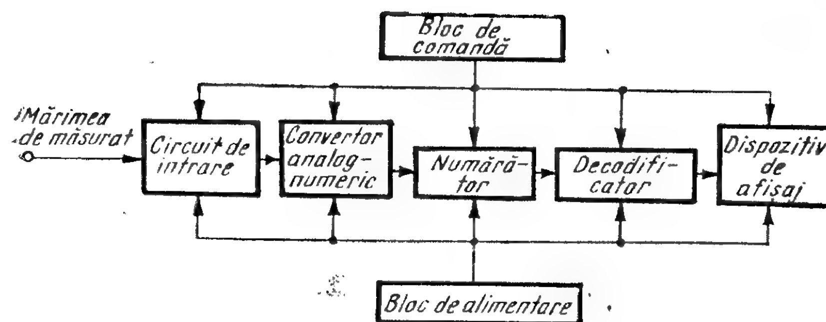


Fig. 14.2. Schema bloc a aparatelor de măsurat numerice.

funcţionale sînt : *circuitul de intrare, convertorul analog-numeric, numărătorul, decodorul, dispozitivul de afişare, blocul de comandă* şi *blocul de alimentare*.

● **Circuitul de intrare** prelucrează mărimea de măsurat pentru a obţine o mărime convenabilă la intrarea convertorului. El poate fi un amplificator cînd mărimea de măsurat este prea mică, un atenuator cînd mărimea de măsurat este prea mare, un redresor cînd mărimea de măsurat este alternativă şi la intrarea convertorului se cere un semnal continuu etc.

În acelaşi timp, circuitul de intrare asigură impedanţa necesară la intrarea aparatului de măsurat numeric.

● **Convertorul analog-digital** transformă mărimile de măsurat analogice în mărimi digitale (de obicei — o serie de impulsuri).

● **Numărătorul** numără impulsurile de la ieşirea convertorului, în sistem de numeraţie binar sau binar-zecimal.

● **Decodorul** transformă rezultatul măsurării din sistemul binar în sistem zecimal.

● **Dispozitivul de afişare**, după cum arată numele său, afişează sub formă numerică rezultatul măsurării.

● **Blocul de comandă** asigură comanda automată a operaţiilor.

● **Blocul de alimentare** alimentează toate celelalte blocuri funcţionale.

În continuare va fi prezentată funcţionarea unora dintre blocurile specifice aparatelor de măsurat numerice. Convertoarele analog-numerice vor fi studiate împreună cu aparatele care le folosesc.

1. NUMĂRĂTOARE

Numărătorul este blocul care *realizează funcţia de numărare a impulsurilor*. El este format dintr-un lanţ de celule elementare de numărare care depind de sistemul de numeraţie folosit.

a. SISTEMUL DE NUMERAŢIE

Un **sistem de numeraţie** este *un cod pentru reprezentarea unei cantităţi*. El se compune dintr-un număr de simboluri (cifre) şi un algoritm de combinare a acestor simboluri pentru reprezentarea diferitelor cantităţi.

Se pot folosi diferite sisteme de numeraţie, fiecare sistem caracterizîndu-se printr-o anumită bază, n (de exemplu, sistemul de numeraţie în baza 10, în baza 2, în baza 7 etc.).

● Un **sistem de numeraţie în baza n** cuprinde n simboluri (cifre) distincte, care reprezintă coeficienţii puterilor succesive ale bazei n. Un număr N va fi codificat într-un sistem cu baza n astfel :

$$N_n = \sum_k C_k n^k, \tag{14.1}$$

unde C reprezintă cifrele sistemului cu baza n $(0 \leqslant C \leqslant n-1)$, iar k reprezintă rangul termenului respectiv $(-\infty < k < +\infty)$.

● **Sistemul zecimal.** În viaţa de toate zilele, oamenii folosesc sistemul de numeraţie zecimal. Se presupune că el a fost adoptat încă din vechime, datorită faptului că omul are zece degete care i-au servit iniţial la numărare.

În sistemul zecimal $n = 10$, deci există cifre distincte (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9), care multiplică puterile succesive ale lui 10. Un număr N reprezentat în sistemul zecimal va fi :

$$N_{10} = \sum_k C_k 10^k, \tag{14.2}$$

unde $0 \leqslant C \leqslant 9$, iar $-\infty < k < +\infty$.

De exemplu, $(1353.23)_{10} = 1\cdot10^3 + 3\cdot10^2 + 5\cdot10^1 + 3\cdot10^0 + 2\cdot10^{-1} + 3\cdot10^{-2}$.

Pentru simplificarea scrierii, se omit puterile bazei şi semnele de adunare, numărul reprezentîndu-se prin cifrele respective aşezate în ordinea corespunzătoare rangului. Virgula indică limita dintre coeficienţii puterilor pozitive (inclusiv zero) şi cei ai puterilor negative ale bazei.

● **Sistemul binar.** În construcţia aparatelor de măsurat numerice şi în tehnica modernă de calcul, se foloseşte sistemul de numera-

ție binar (cu baza 2), deoarece necesită numai două simboluri distincte, care pot fi ușor redate cu circuitele electrice sau electronice, ce conțin elemente (relee, diode, tranzistoare) cu două stări distincte (închis-deschis, conduce-nu conduce, nivel ridicat-nivel coborît).

Sistemul binar are numai două cifre, 0 și 1. Cifra 1 se numește *bit*, care provine de la „binary digit" (în limba engleză aceasta înseamnă cifră binară).

Un număr în sistemul binar este reprezentat de suma puterilor succesive ale lui 2, multiplicate cu coeficienții 0 sau 1. De exemplu:

$$(57)_{10} = 1 \cdot 2^5 + 1 \cdot 2^4 + 1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 = (111001).$$

Ca și în sistemul zecimal, și în sistemul binar numerele se reprezintă numai prin cifrele 0 și 1, puterile bazei și semnul „+" omițîndu-se.

În tabelul 14.1 se dă corespondența dintre numerele 0 ... 10 scrise în sistemul zecimal și în sistem binar.

TABELUL 14.1

Număr zecimal	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Număr binar	0	1	10	11	100	101	110	111	1000	1 001	1 010

● **Sistemul binar-zecimal.** Deși sistemul de numerație binar este foarte potrivit pentru prelucrarea semnalelor cu circuite electrice și electronice, afișarea rezultatelor în acest sistem ar fi foarte greu de interpretat de oameni, care sînt obișnuiți să gîndească și să lucreze în sistemul zecimal (să ne imaginăm că am spune 111001 în loc de 57 !).

Pentru a simplifica citirea și operarea cu numere binare, au fost concepute coduri binare speciale, care să permită pe de o parte prelucrarea semnalelor în sistemul binar și, pe de altă parte, reprezentarea rezultatelor în sistemul zecimal.

Un astfel de cod, utilizat frecvent în aparatele de măsurat digitale, este codul binar-zecimal, cunoscut și sub numele de BCD (binary coded-decimal), care îmbină caracteristicile celor două sisteme.

În codul binar-zecimal numerele se reprezintă în succesiunea din sistemul zecimal, dar fiecare cifră a numărului din baza 10 se exprimă printr-un număr binar. Fiecare cifră a sistemului zecimal se exprimă prin patru cifre binare, al căror ansamblu se numește *tetradă*.

De obicei, ponderile fiecărei cifre binare din tetradă, de la stînga la dreapta, corespund puterilor 2^3, 2^2, 2^1, 2^0, adică 8-4-2-1. Acest cod este denumit codul BCD natural, NBCD, sau codul 8421.

De exemplu, numărul zecimal 4 935 în NBCD va fi:

0100	1001	0011	0101
4	9	3	5

În tabelul 14.2 este dată reprezentarea cifrelor zecimale prin tetrade în codul binar-zecimal 8421.

TABELUL 14.2

Cifră zecimală	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Cod binar-zecimal	0000	0001	0010	0011	0100	0101	0110	0111	1000	1001

În afara acestui cod mai există și alte coduri binar-zecimale, cu alte ponderi, de exemplu 2421, sau 4421, care însă se utilizează mai rar.

b. CIRCUITUL BASCULANT BISTABIL

Celula elementară de numărare în sistemul binar este un circuit basculant bistabil.

Circuitul basculant bistabil este un dispozitiv electronic, care se caracterizează prin două stări distincte, ambele stabile. El este folosit *ca element de comutație*, putînd trece brusc dintr-o stare în alta în urma aplicării unei comenzi din exterior, și *ca element de memorie*, putînd rămîne oricît într-o anumită stare, dacă nu se aplică nici o comandă externă.

● În figura 14.3, *a* este prezentată **schema unui circuit basculant bistabil,** realizat cu tranzistoare *npn*, iar în figura 14.3, *b* este dată reprezentarea sa convențională.

După cum se vede în figura 14.3, *a*, circuitul basculant bistabil este alcătuit din două etaje de amplificare, realizate cu cîte un tranzistor. Ieșirea fiecărui etaj de amplificare este conectată direct

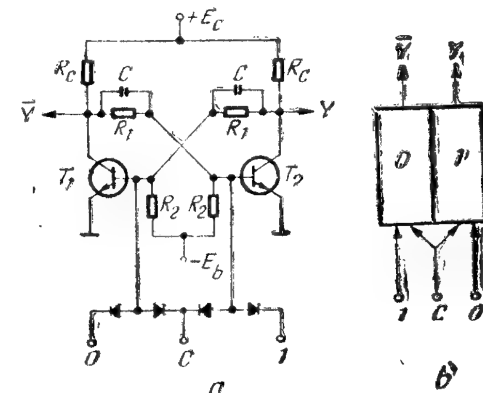


Fig. 14.3. Circuit basculant bistabil.

la intrarea celuilalt etaj prin rezistențele R_1. În acest fel, fiecare etaj de amplificare constituie o buclă de reacție pentru celălalt (semnalul de la ieșirea tranzistorului T_1 este amplificat de tranzistorul T_2 și readus la intrarea lui T_1; la fel pentru T_2). Datorită acestor reacții, cele două tranzistoare nu pot conduce simultan. Cînd un tranzistor conduce, celălalt este blocat, și invers. Circuitul prezintă deci două stări stabile: starea 1, în care tranzistorul T_1 conduce și T_2 este blocat, și starea 0, în care T_2 conduce și T_1 este blocat.

Din colectoarele celor două tranzistoare se obțin două semnale: Y la ieșirea tranzistorului T_2 și $\bar{Y}$ (Y negat) la ieșirea tranzistorului T_1.

● **Funcționare.** *În starea stabilă,* tranzistorul care este blocat are potențialul colectorului egal cu $+E_C$, iar tranzistorul care conduce, funcționînd la saturație, are tensiunea pe colectorul său aproape nulă.

Comanda de basculare se realizează prin aplicarea unui implus negativ la intrare. Circuitul basculant bistabil reprezentat în figura 14.3 are trei intrări. Intrarea C este simetrică; fiecare implus determină bascularea dintr-o stare în alta. Această intrare este folosită pentru numărarea impulsurilor. Intrările 0 și 1 sînt nesimetrice. Prin aplicarea unui impuls negativ de comandă la una dintre aceste intrări, bascularea nu se poate face decît într-un singur sens. De exemplu: dacă se aplică un impuls negativ la intrarea *1*, bistabilul basculează în starea 1 și rămîne în această stare; pentru ca bistabilul să basculeze în starea 0, trebuie să se aplice un impuls negativ la intrarea *0*. Intrările nesimetrice sînt folosite pentru aducerea bistabilului în starea 0 sau în starea 1, indiferent de starea pe care a avut-o înainte.

c. NUMĂRĂTOR BINAR

După cum s-a arătat, celula elementară de numărare în sistemul binar este circuitul bistabil.

Un circuit bistabil (o celulă binară), avînd doar două stări distincte, nu poate număra decît un singur impuls, deoarece la al doilea trece din nou în zero.

Dacă se cuplează în cascadă două circuite bistabile, se realizează un sistem care are patru stări distincte și poate număra pînă la trei.

Pentru explicarea funcționării numărătoarelor, se consideră că bistabilul este comandat simetric cu impulsuri negative și că starea 1 corespunde situației cînd tranzistorul T_1 din stînga conduce și la ieșirea Y apare o tensiune pozitivă, iar starea 0 corespunde situației cînd tranzistorul T_2 din dreapta conduce și la ieșirea Y tensiunea este aproximativ zero.

● **Sistem de numărare cu două celule binare în cascadă.** *Inițial,* cele două celule binare sînt în starea 0. *La aplicarea primului impuls,* celula B_1 trece din starea 0 în starea 1. La ieșirea sa apare un salt de tensiune pozitiv, care nu afectează celula B_2, sensibilă doar la impulsuri negative datorită diodei din circuitul de intrare. *La aplicarea celui de-al doilea implus,* celula B_1 trece din starea 1 în starea 0, iar tensiunea la ieșirea sa face un salt negativ ce se transmite celulei B_2. Aceasta basculează din starea 0 în starea 1. *La aplicarea celui de-al treilea impuls,* celula B_1 trece din nou în starea 1, producînd un salt de tensiune pozitiv la ieșire, care nu afectează celula B_2. *La al patrulea impuls,* B_1 revine în starea 0, la ieșirea sa Y apare din nou un salt negativ de tensiune, care face ca celula B_2 să basculeze din starea 1 în starea 0, sistemul revenind astfel în starea inițială.

Se observă că sistemul de numărare cu două celule binare în cascadă poate pune în evidență $2^2 = 4$ stări distincte și poate număra trei impulsuri. La al patrulea impuls revine în starea inițială.

● **Prin legarea în cascadă a mai multor celule binare** se obține un **bloc de numărare.** Dacă numărătorul are n celule în cascadă, poate pune în evidență 2^n stări distincte și poate număra pînă la 2^n-1 impulsuri.

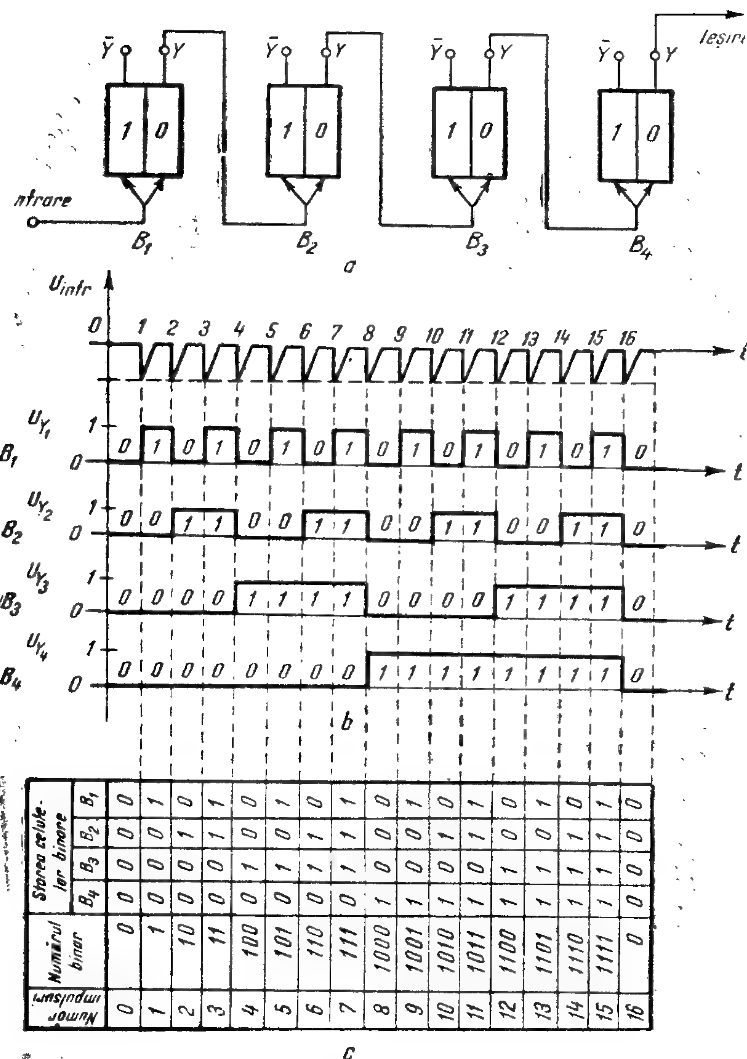
Regula generală de funcționare a unui sistem de celule binare în cascadă este următoarea: prima celulă își schimbă starea la fiecare impuls aplicat la intrare; fiecare dintre celelalte celule din lanț își schimbă starea numai cînd bistabilul precedent trece din starea 1 în starea 0.

Aplicînd această regulă, se observă că prima celulă a unui numărător binar își schimbă starea la fiecare implus aplicat la intrare, cea de-a doua își schimbă starea din două în două impulsuri, cea de-a treia din patru în patru, cea de-a patra din opt în opt ş.a.m.d. Celulele corespund deci puterilor succesive ale lui 2, iar stările lor corespund coeficienților acestor puteri: aceasta explică funcționarea sistemului cu numărător binar.

În figura 14.4, *a* este prezentat un *numărător binar cu patru celule,* care poate pune în evidență $2^4 = 16$ stări distincte și poate număra pînă la 15 impulsuri. Variația tensiunilor la ieșirile Y ale celulelor binare în funcție de impulsurile aplicate la intrare este prezentată în figura 14.4, *b*, iar în figura 14.4, *c* este dată variația stărilor celulelor.

d. NUMĂRĂTOR DECADIC

Pentru a realiza o numărare în sistemul de numerație zecimal, este necesar un numărător cu zece stări distincte. Cele zece stări distincte se pot realiza cu celule binare, dar după cum s-a văzut un numărător binar revine în starea inițială după un număr de impulsuri corespunzînd puterilor numărului 2.



	B_1	B_2	B_3	B_4	Numărul binar	Număr impulsuri
	0	0	0	0	0	0
	1	0	0	0	1	1
	0	1	0	0	10	2
	1	1	0	0	11	3
	0	0	1	0	100	4
	1	0	1	0	101	5
	0	1	1	0	110	6
	1	1	1	0	111	7
	0	0	0	1	1000	8
	1	0	0	1	1001	9
	0	1	0	1	1010	10
	1	1	0	1	1011	11
	0	0	1	1	1100	12
	1	0	1	1	1101	13
	0	1	1	1	1110	14
	1	1	1	1	1111	15
	0	0	0	0	0	16

(Starea celulelor binare: B_1, B_2, B_3, B_4)

Fig. 14.4. Numărător binar cu patru celule.

● Pentru **obținerea unui numărător cu zece stări stabile**, se poate transforma un numărător binar cu patru celule, suprimînd șase dintre cele 16 stări posibile, prin introducerea unor reacții. Se pot face diverse legături de reacție; în figura 14.5, *a* este prezentată schema unui numărător decadic cu legături de reacție între ieșirea $\overline{Y}$ a celulei B_4 și intrările de comandă nesimetrică *1* ale celulelor B_2 și B_3.

Funcționarea acestui numărător este identică cu a unui numărător binar pînă la impulsul 7, cînd starea este 0111. La aplicarea celui de-al optulea impuls, mai întîi sistemul trece în starea 1 000, care însă nu se menține, deoarece bascularea celulei B_4 în starea 1 determină un impuls negativ pe ieșirea sa $\overline{Y}$; acesta, transmițîndu-se la celulele B_2 și B_3, determină trecerea lor în starea 1. Starea finală a sistemului este deci 1110; numărătorul indică numărul $(1110)_2 = 14_{10}$ în loc de $(1000)_2 = (8)_{10}$, deci a sărit șase unități. La aplicarea celui

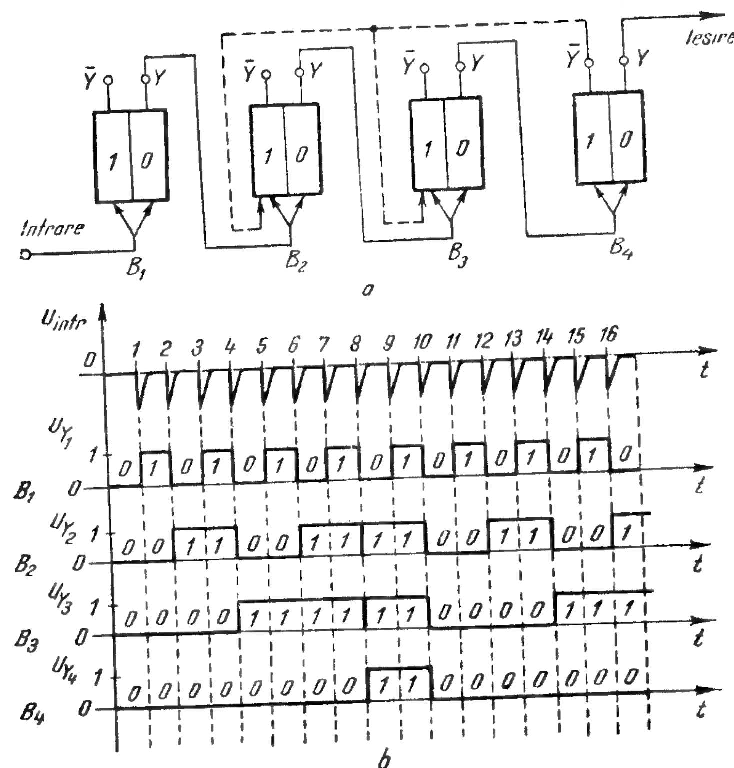


Fig. 14.5. Numărător decadic cu patru celule binare.

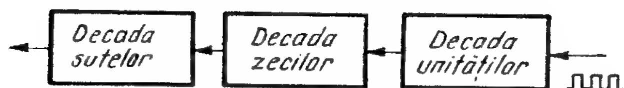


Fig. 14.6. Numărător cu decade în cascadă.

de-al nouălea impuls sistemul trece în starea $(1111)_2 = (15)_{10}$, **care este** și ultima, deoarece la aplicarea celui de-al zecelea impuls **sistemul** revine în starea zero.

Un astfel de numărător, cu zece stări distincte, numără **impulsu-rile** conform codului binar-zecimal, realizînd o tetradă.

● **Legînd în cascadă mai multe numărătoare decadice** se pot obține numărătoare cu decade de ordine crescătoare. **Funcționarea** acestora decurge, în felul următor: la aplicarea celui **de-al zecelea** impuls la intrare, prima decadă (a unităților) revine la zero prin **tre-**cerea ultimei celule binare în starea zero, care totodată **furnizează** un impuls negativ decadei următoare de numărare. Cea de-a **doua** decadă corespunde zecilor, deoarece este comandată din zece **în zece** impulsuri aplicate la intrare; tot așa, la fiecare sută **de impulsuri,** decada zecilor revine în starea inițială comandînd decada **următoare,** a sutelor. În figura 14.6 este prezentat un numărător **cu decade în** cascadă, cu o capacitate de 999 unități.

2. DECODOARE

În aparatele de măsurat numerice, numărătoarele **funcționează** în sistemul binar dar, pentru a fi ușor interpretate, rezultatele tre-buie afișate în sistemul zecimal.

Transformarea unei informații dintr-un sistem de numerație în altul se realizează cu circuite speciale numite **decodoare.**

Există diverse tipuri de decodoare. Cel mai răspîndit este decodorul din NBCD în zecimal, care va fi analizat în continuare

DECODORUL DIN NBCD ÎN ZECIMAL

Pentru transformarea unui număr din sistemul binar-zecimal în sistemul zecimal, este necesar ca *pentru fiecare tetradă să existe un decodor,* care să primească semnalele de la cele patru celule binare ale unei tetrade și să aibă 10 ieșiri corespunzătoare celor 10 cifre ale sistemului zecimal.

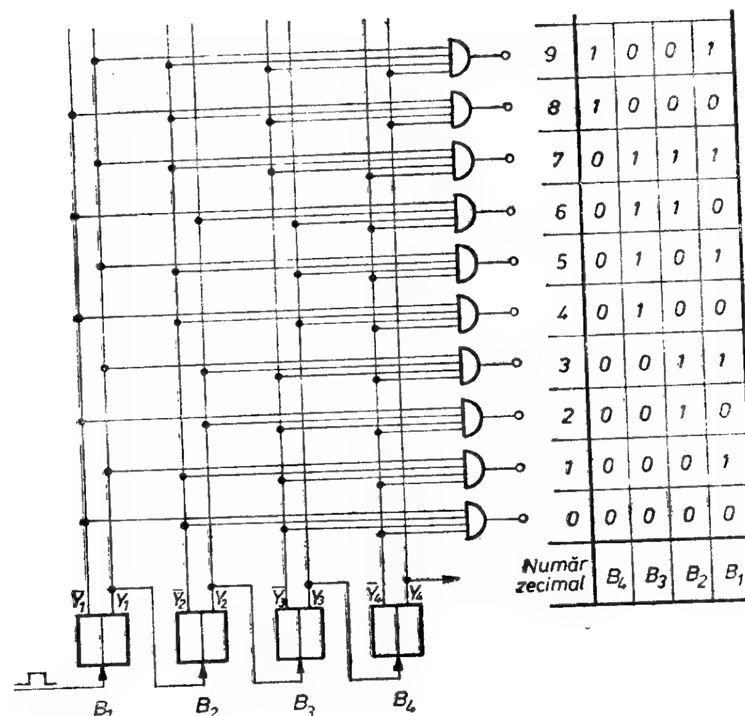
Un astfel de decodor se poate realiza cu 10 circuite logice de tip *ȘI*, conectate la cele patru celule binare ale unei tetrade, conform tabelului de adevăr ce leagă între ele cele două sisteme.

Un circuit logic *ȘI* este un circuit care dă semnal la ieșire numai dacă pe toate intrările sale există semnal.

În figura 14.7, *a* este prezentată **schema logică a unui decodor din sistemul binar sau NBCD** (numerele de la zero la nouă se reprezintă la fel în binar și în NBCD) **în sistemul zecimal,** iar în figura 14.7, *b* este prezentat tabelul de adevăr ce leagă cele două sisteme.

După cum se vede din figura 14.7, *a*, fiecare circuit logic *ȘI* corespunde unei anumite cifre zecimale (0, 1, 2, . . ., 9). Cele patru intrări ale fiecărui circuit *ȘI* sînt conectate la cele patru celule binare conform tabelului de adevăr, astfel încît, pentru fiecare număr, numai circuitul *ȘI* corespunzător acelui număr să primească semnal pe toate intrările sale și să dea un semnal de ieșire, în timp ce toate celelalte circuite *ȘI* vor avea cel puțin o intrare fără semnal și, ca urmare, semnalul la ieșirea lor va fi zero.

De exemplu, *circuitul ȘI corespunzător cifrei zecimale 4* (în binar 0 100) este conectat la ieșirea Y *a* celulei B_3 și la ieșirile $\bar{Y}$ (ieșirile negate) ale celulelor B_1, B_2 și B_4. În acest fel, cînd numărătorul binar numără 0 100, circuitul *ȘI* corespunzător



Număr zecimal	B_4	B_3	B_2	B_1
9	1	0	0	1
8	1	0	0	0
7	0	1	1	1
6	0	1	1	0
5	0	1	0	1
4	0	1	0	0
3	0	0	1	1
2	0	0	1	0
1	0	0	0	1
0	0	0	0	0

Fig. 14.7. Decodor.

cifrei zecimale 4 primeşte semnal 1 pe toate intrările sale şi va da la ieşire un semnal care poate acţiona un dispozitiv de afişare pentru a indica cifra 4. În acelaşi timp, toate celelalte circuite *ŞI* vor avea cel puţin o intrare fără semnal şi ca urmare nu vor avea semnal de ieşire.

3. DISPOZITIVE DE AFIŞARE

Pentru reprezentarea sub formă numerică a rezultatului măsurării, aparatele de măsurat digitale sînt prevăzute cu dispozitive de afişare. Acestea sînt comandate de semnalele de la ieşirea decodorului.

Există foarte multe tipuri de dispozitive de afişare, dar în construcţia aparatelor moderne cel mai frecvent sînt folosite:

— *dispozitivele de afişare cu tuburi cu gaz*, numite şi *digitroane* sau *tuburi NIXIE*;

— *dispozitivele de afişare cu diode semiconductoare electroluminescente* (LED);

— *dispozitivele de afişare cu cristale lichide.*

a. DISPOZITIVE DE AFIŞARE CU TUBURI NIXIE

● **Construcţia.** Tuburile NIXIE sînt tuburi cu gaz, care au 10 catozi şi un anod. Catozii sînt confecţionaţi din sîrmă subţire din crom-nichel şi au forma cifrelor de la 0 la 9. Cînd tensiunea dintre anod şi unul dintre catozi este egală cu tensiunea de aprindere, gazul din jurul catodului respectiv se ionizează şi se amorsează o descărcare luminescentă a cărei culoare depinde de natura gazului (roşie, pentru tuburile cu neon). Lăţimea de luminescenţă a catodului fiind mai mare decît grosimea sîrmei din care acesta este confecţionat, cei 10 catozi pot fi aşezaţi unul în faţa celuilalt.

● **Schema de comandă a unui tub NIXIE** este reprezentată în figura 14.8. Fiecare catod al tubului NIXIE este conectat în colectorul unuia dintre tranzistoarele $T_0 \ldots T_9$, iar bazele acestor tranzistoare sînt conectate la cele 10 ieşiri ale unui decodor binar-zecimal.

Cînd un tranzistor conduce la saturaţie, colectorul său se găseşte aproximativ la potenţialul zero, iar tensiunea dintre catodul tubului NIXIE conectat în colectorul său şi anod este E_a. Această tensiune este mai mică decît tensiunea de aprindere şi descărcare nu se amorsează.

Pentru afişarea unei anumite cifre zecimale, tranzistorul legat la ieşirea corespunzătoare a decodorului primeşte un semnal pozitiv

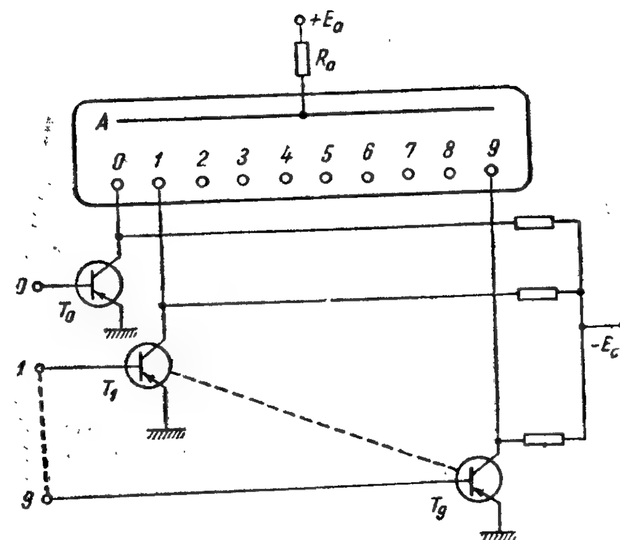


Fig. 14.8. Schema de comandă a unui tub NIXIE.

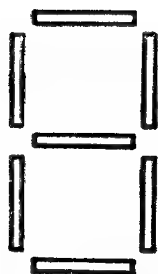
pe bază şi se blochează. În acest caz, pe rezistenţa din colectorul său nu cade nici o tensiune, deci colectorul se află la potenţialul $-E_c$. Între catodul legat în colectorul tranzistorului respectiv şi anod, diferenţa de potenţial devine $E_a + E_c$ şi este suficientă pentru ca descărcarea în gaz să se amorseze. Ca urmare, gazul din jurul catodului respectiv devine luminescent, indicînd cifra dorită.

Tuburile NIXIE au dezavantajul că necesită tensiuni de aprindere mari, de circa 170 V; de aceea, ele sînt utilizate în special în aparatele echipate cu tuburi electronice. În aparatele tranzistorizate sînt folosite mai rar, în aceste aparate fiind preferate alte tipuri de indicatoare.

b. DISPOZITIVE DE AFIŞARE CU DIODE ELECTROLUMINESCENTE

Diodele electroluminescente, cunoscute şi sub denumirea de LED (light emitting diodes), sînt diode semiconductoare care au proprietatea de a emite lumină cînd sînt în stare de conducţie. În funcţie de semiconductorul folosit, lumina emisă poate avea diferite culori (roşu, verde).

Pentru a indica cele zece cifre zecimale, se folosesc *grupuri de diode care se selectează cu ajutorul unor circuite logice* (codificatoare) *pentru a forma cifra dorită.* Cel mai frecvent se folosesc grupuri de şapte diode astfel aşezate, încît atunci cînd toate sînt în stare de con-


Fig. 14.9. Dispozitiv de afişare cu şapte LED-uri.

ducţie, să se afişeze cifra 8 (fig. 14.9). Pentru afişarea altor cifre, o parte dintre diode rămîn blocate.

De exemplu, cînd se afişează cifra 0, dioda din mijloc este blocată.

Dispozitivele de afişare cu diode electroluminescente sînt larg răspîndite în aparatele tranzistorizate, deoarece ele funcţionează cu tensiuni foarte mici, de ordinul volţilor.

c. DISPOZITIVE DE AFIŞARE CU CRISTALE LICHIDE

● **Cristalele lichide** sînt substanţe aflate într-o stare intermediară, între solid şi lichid. Ele curg, dar în acelaşi timp moleculele lor sînt orientate într-o anumită ordine, ceea ce dă substanţei respective proprietatea de cristal. Ordinea moleculară a cristalelor lichide poate fi influenţată de cîmpurile electrice sau magnetice, sub acţiunea cărora substanţele respective îşi schimbă transparenţa sau culoarea. Aceste proprietăţi ale cristalelor lichide îşi găsesc foarte multe aplicaţii în practică.

Deşi utilizările practice ale cristalelor lichide au început abia prin anul 1970, în prezent ele sînt frecvent folosite în dispozitivele de afişare ale ceasurilor electronice, ale calculatoarelor şi ale aparatelor de măsurat numerice.

Dispozitivele de afişare cu cristale lichide sînt realizate de obicei pe principiul segmentelor luminoase, cu ajutorul cărora se pot forma cifrele de la 0 la 9.

● **Un exemplu de indicator cu cristale lichide** cu şapte segmente luminoase este prezentat în figura 14.10. Dispozitivul este format din

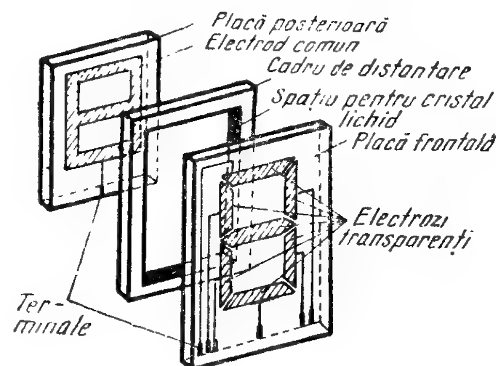


Fig. 14.10. Dispozitiv de afişare cu cristale lichide, cu şapte segmente.

două plăci de sticlă, cu rol de suporţi, pe care se depun electrozi peliculari transparenţi; între plăci se introduce un strat subţire de cristal lichid, cu grosimea între 6 μm şi 25 μm. Placa suport frontală are electrozii sub forma a şapte segmente cu terminale individuale amplasate pe o margine a plăcii. Placa suport posterioară are un singur electrod, al cărui contur corespunde cu figura formată de cele şapte segmente. Cînd se aplică o diferenţă de potenţial între electrodul de pe placa posterioară şi toţi cei şapte electrozi de pe placa frontală, se afişează cifra 8. Pentru afişarea altei cifre, unii dintre electrozii de pe placa frontală nu primesc tensiuni.

● **Caracteristici.** Dispozitivele de afişare cu cristale lichide necesită tensiuni relativ mici şi au un consum de energie foarte redus, motiv pentru care ele capătă o răspîndire din ce în ce mai largă.

C. TIPURI DE APARATE DE MĂSURAT DIGITALE

1. NUMĂRĂTORUL UNIVERSAL

Numărătorul universal este din punct de vedere cronologic primul aparat de măsurat digital. După cum îi spune şi numele, acest aparat este destinat să numere o serie de impulsuri. El are însă o utilizare foarte largă. În afară de numărare de impulsuri, el poate fi folosit la măsurarea frecvenţelor, a perioadelor, a intervalelor de timp sau a raportului între două frecvenţe.

Prin utilizarea anumitor traductoare, numărătorul universal poate măsura viteze, turaţii, timpi de atragere la relee, grosimea laminatelor, sau poate face numărări cu preselecţie (la ambalări, dozări etc.).

● **Schema bloc a unui numărător universal** este prezentată în figura 14.11 şi conţine următoarele circuite principale: *oscilatoare cu cuarţ, divizorul de frecvenţă, circuitul de intrare, circuitul poartă, numărătorul, decodificatorul* şi *dispozitivul de afişare.*

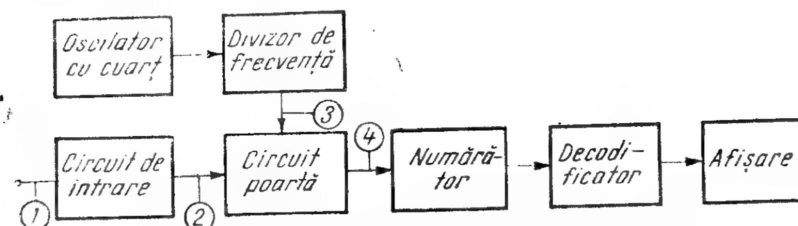


Fig. 14.11. Schema bloc a unui numărător universal.

● **Principiul de funcţionare a numărătorului universal** constă în numărarea unor impulsuri într-un timp determinat. În acest scop, el conţine un circuit poartă, la intrarea căruia se aplică impulsurile de numărat împreună cu un semnal de comandă care determină durata numărării. Circuitul poartă este de obicei un circuit de tip *ŞI*. La ieşirea porţii se vor regăsi impulsurile aplicate la intrare, numai pe durata coincidenţei dintre cele două semnale. Impulsurile de la ieşirea porţii sînt numărate de numărător în sistemul binar sau binar codificat în zecimal (BCD). Decodificatorul transformă rezultatul numărării din binar sau din BCD în sistemul zecimal, pentru a fi apoi afişat numeric de dispozitivul de afişare.

Funcţionarea numărătorului universal este comandată de un oscilator cu cuarţ de mare stabilitate. Deoarece oscilatorul cu cuarţ funcţionează pe o frecvenţă fixă, pentru obţinerea unor semnale de frecvenţă diferite se foloseşte un divizor de frecvenţă, care împarte prin decade succesive $\left(1, \frac{1}{10}, \frac{1}{100}, \ldots\right)$ frecvenţa semnalelor date de oscilatorul cu cuarţ. Semnalele obţinute la ieşirea divizorului de frecvenţă se aplică la una dintre intrările circuitului poartă, determinînd în acest mod, cu precizie foarte mare, durata unuia dintre semnalele ce se aplică porţii. Oscilatorul cu cuarţ împreună cu divizorul de frecvenţă alcătuiesc baza de timp a numărătorului universal.

Circuitul de intrare prelucrează semnalele aplicate la intrare, pentru a fi compatibile cu intrarea porţii logice a numărătorului (intrarea circuitului poartă). Deoarece la intrarea porţii trebuie să se aplice semnale sub forma unor impulsuri de o anumită amplitudine, circuitul de intrare are rolul de a transforma semnalele aplicate la intrare, care pot avea amplitudini şi forme diferite, în impulsuri de aceeaşi frecvenţă.

2. FRECVENŢMETRE ŞI CRONOMETRE DIGITALE

După cum s-a arătat în paragraful precedent, numărătorul universal poate fi folosit la măsurarea intervalelor de timp şi a frecvenţelor. Aceste mărimi se pot măsura numeric prin metode directe. În cazul măsurării frecvenţelor, se numără perioadele semnalului a cărui frecvenţă se măsoară, într-un interval de timp prestabilit, de exemplu o secundă. La măsurarea intervalelor de timp se numără impulsurile date de generatorul bază de timp, în intervalul de timp ce se măsoară. Deci, şi într-un caz şi în celălalt, *măsurarea constă în numărarea unor impulsuri*, numărare ce se poate realiza cu numărătorul universal.

Frecvenţmetrele şi cronometrele numerice moderne sînt construite sub forma unui numărător universal, adaptat pentru una dintre cele două funcţionări.

● Pentru **funcţionarea ca frecvenţmetru,** semnalul a cărui frecvenţă se măsoară se aplică circuitului de intrare, care îl transformă în impulsuri avînd aceeaşi frecvenţă. Aceste impulsuri se aplică pe una dintre intrările circuitului poartă. La cea de-a doua intrare a porţii, se aplică semnalul de la divizorul de frecvenţă, semnal ce are o durată bine determinată, de exemplu o secundă. Pe durata cît cele două semnale coincid, impulsurile trec prin poartă spre numărător. Acesta le numără, iar rezultatul numărării este decodificat şi afişat numeric.

În figura 14.12 s-au reprezentat diagramele semnalelor în diferite puncte ale frecvenţmetrului (*1* — semnalul la intrare; *2* — semnalul la ieşirea circuitului de intrare; *3* — semnalul dat de divizorul de frecvenţă; *4* — semnalul la ieşirea circuitului poartă, respectiv la intrarea numărătorului).

● **Cronometrele** sînt aparate destinate să măsoare intervalele de timp. Un cronometru numeric este realizat cu un numărător universal.

La una dintre intrările circuitului poartă se aplică impulsuri generate de baza de timp, care au o anumită perioadă T_0. La cea de-a doua intrare se aplică un semnal generat de circuitul de intrare, care are durata egală cu intervalul de timp ce se măsoară. De exemplu, la cronometrarea unei curse sportive, în momentul în care se dă startul, circuitul de intrare primeşte o comandă de pornire şi produce un semnal care deschide circuitul poartă. În momentul cînd se trece linia de sosire, circuitul de intrare primeşte un nou semnal, de oprire. Din momentul respectiv circuitul poartă se blochează.

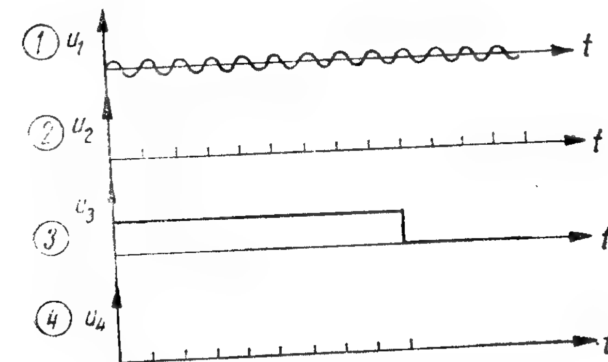


Fig. 14.12. Măsurarea numerică a frecvenţei.

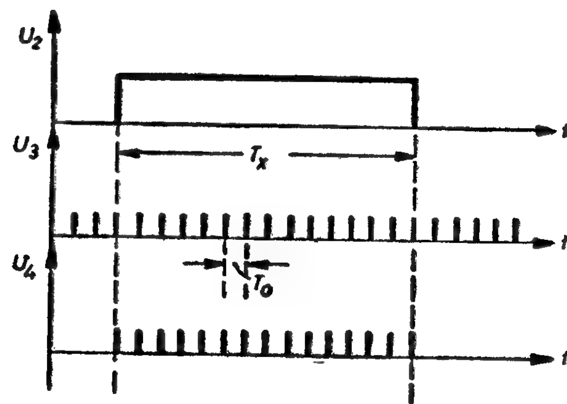


Fig. 14.13. Măsurarea numerică a intervalelor de timp.

Atît timp cît poarta este deschisă, trec spre numărător impulsurile generate de baza de timp. Aceste impulsuri se numără, se multiplică cu perioada T_0 a bazei de timp, iar rezultatul se decodifică şi se afişează sub formă numerică.

În figura 14.13 s-au reprezentat diagramele semnalelor în diferite puncte ale unui cronometru.

3. VOLTMETRE DIGITALE

Voltmetrele digitale sînt aparate utilizate la măsurarea tensiunilor continue în limitele 1 μV—1 000 V, la care rezultatul măsurării este afişat sub formă numerică. Ele pot fi utilizate şi pentru măsurarea tensiunilor alternative, dacă sînt prevăzute cu circuite speciale de detecţie.

Voltmetrele digitale sînt foarte răspîndite şi se caracterizează prin:

— precizie foarte bună, ajungînd pînă la 10^{-6};

— impedanţă de intrare foarte mare (la unele aparate — zeci de mii de megohmi);

— viteză de măsurare mare, pînă la sute de măsurări pe secundă;

— funcţionare automată (schimbarea automată a gamei de măsurare şi indicarea polarităţii tensiunii).

Deoarece tensiunea este o mărime analogică, pentru măsurarea ei numerică este necesar să se folosească convertoare analog-digitale. Convertoarele analog-digitale utilizate în voltmetrele digitale sînt de diferite tipuri, dar funcţionarea lor se bazează pe cîteva metode de conversie fundamentale:

— *metoda conversiei intermediare în timp sau frecvenţă;*

— *metoda compensării;*

— *metode mixte.*

a. VOLTMETRUL DIGITAL CU CONVERTOR TENSIUNE-TIMP

După cum s-a arătat, partea principală a unui voltmetru digital o constituie convertorul analog-digital. În cazul unui convertor tensiune-timp, *funcţionarea acestuia se bazează pe convertirea tensiunii continue de măsurat într-un interval de timp proporţional cu aceasta, interval de timp ce se măsoară apoi numeric ca la cronometrele digitale.*

• În figura 14.14, *a* este prezentată **schema bloc** a unui voltmetru digital cu convertor tensiune-timp, iar în figura 14.14, *b* sînt prezentate diagramele semnalelor în diferite puncte ale aparatului.

După cum se vede din schema bloc, tensiunea de măsurat U_x se aplică la intrarea unui comparator, care o compară cu o tensiune liniar-variabilă în timp $U_e = k(t - t_0)$, primită de la un generator etalon.

• **Funcţionarea.** *În momentul* $t = t_0$, în care începe o măsurare, tensiunea etalon este zero şi se comandă deschiderea circuitului poartă prin care trec spre numărător impulsuri de frecvenţă f_0 generate de un oscilator cu cuarţ.

La $t = t_x$, tensiunea U_e, care creşte liniar în timp, devine egală cu tensiunea de măsurat U_x:

$$U_x = U_e = k(t_x - t_0). \tag{14.3}$$

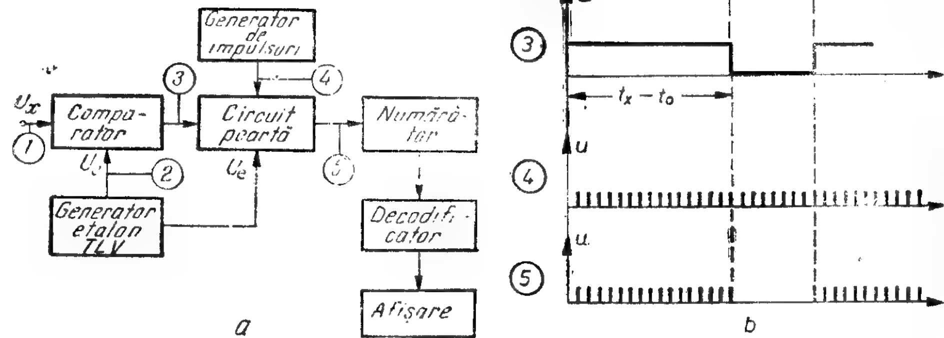
Cînd cele două tensiuni sînt egale, comparatorul comandă închiderea circuitului poartă, deci circuitul poartă rămîne deschis numai în intervalul de timp $t_x - t_0$, care conform relaţiei (14.3) este proporţional cu tensiunea U_x de măsurat. Numărul de impulsuri N care trec prin poartă spre numărător este egal cu produsul dintre frecvenţa f_0 a oscilatorului cu cuarţ şi intervalul de timp $t_x - t_0$ cît este deschisă poarta:

$$N = f_0(t_x - t_0). \tag{14.4}$$

Din relaţia (14.3) se deduce: $t_x - t_0 = \frac{1}{k} U_x$; înlocuind această expresie în relaţia (14.4) se obţine:

$$N = \frac{f_0}{k} U_x = KU_x. \tag{14.5}$$

Fig. 14.14. Voltmetru numeric cu convertor tensiune-timp:
a — schema bloc; *b* — tensiunile în diferite puncte.



Relația (14.5) arată că numărul impulsurilor ce trec prin poartă în intervalul de timp $t_x - t_0$ este proporțional și cu tensiunea de măsurat.

Aceste impulsuri sînt numărate de numărător, iar rezultatul numărării este decodificat și afișat numeric.

b. VOLTMETRUL DIGITAL CU CONVERTOR TENSIUNE-FRECVENȚĂ

Funcționarea convertorului tensiune-frecvență se bazează pe transformarea tensiunii de măsurat într-o serie de impulsuri a căror frecvență este proporțională cu tensiunea U_x.

Convertorul tensiune-frecvență utilizează un circuit integrator, care asigură încărcarea unui condensator sub curent constant. În acest caz, tensiunea de la ieșirea integratorului crește liniar în timp și este proporțională cu tensiunea aplicată la intrarea sa:

$$U_2 = kU_1t. \tag{14.6}$$

Dacă integrarea durează un interval de timp T:

$$U_2 = kU_1T = KU_1. \tag{14.7}$$

● Voltmetrele digitale cu convertor tensiune-frecvență sînt realizate după o **schemă bloc** ca cea prezentată în figura 14.15, *a*. În figura 14.15, *b* sînt prezentate diagramele semnalelor în diferite puncte ale aparatului.

● **Funcționarea voltmetrului** este comandată de un generator bază de timp, care determină durata T a unei măsurări.

Tensiunea de măsurat U_x se aplică la intrarea integratorului, care după un interval de timp T ar trebui să dea la ieșire o tensiune:

$$U_2 = kU_xT = KU_x. \tag{14.8}$$

Ieșirea integratorului este însă legată la intrarea unui comparator, care compară tensiunea de la ieșirea integratorului cu o tensiune de referință U_0. În momentul în care tensiunea de la ieșirea integratorului devine egală cu tensiunea de referință U_0, comparatorul generează un impuls, care comandă prin intermediul unui circuit aducerea integratorului la zero. Tensiunea la ieșirea integratorului va crește din nou pînă la valoarea tensiunii de referință U_0, după care integratorul este adus din nou la zero și fenomenul se repetă pe toată durata T a unei măsurări. În acest mod, la ieșirea integratorului se obține o tensiune de forma dinților de ferăstrău, iar la ieșirea comparatorului — un număr de impulsuri N proporțional cu tensiunea de măsurat U_x. Acest lucru se poate demonstra cu ajutorul diagramelor prezentate în figura 14.15, *b*. Astfel, se observă că pe durata T a unei măsurări numărul impulsurilor de la ieșirea comparatorului

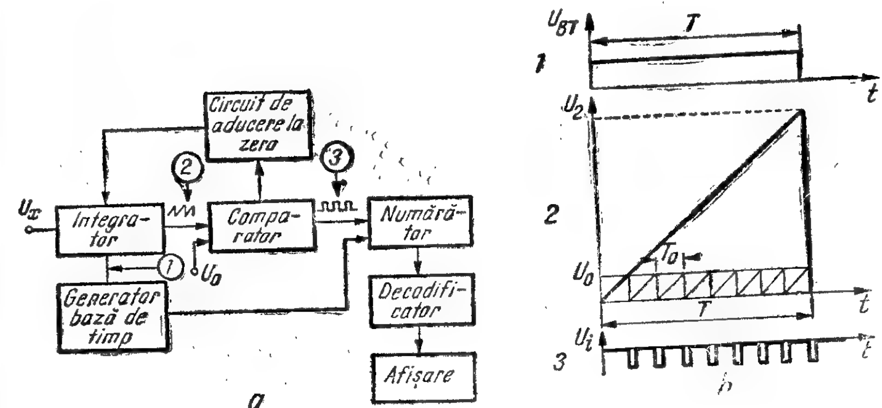


Fig 14.15. Voltmetru numeric cu convertor tensiune-frecvență.
a — schema bloc; *b* — semnalele în diferite puncte.

este $N = \frac{T}{T_0}$, unde T_0 este perioada dinților de ferăstrău. De asemenea, din asemănarea triunghiurilor dreptunghice ce reprezintă variația tensiunii U_2 într-un interval de timp T și variația tensiunii la ieșirea integratorului pe durata T_0 a unui dinte de ferăstrău, se deduce:

$$N = \frac{T}{T_0} = \frac{U_2}{U_0}. \qquad (14.9)$$

Înlocuind în această expresie pe U_2 cu valoarea sa determinată de relația (14.8) și ținînd seamă că U_0 are o valoare constantă, se obține:

$$N = \frac{KU_x}{U_0} = K_1 U_x. \qquad (14.10)$$

Relația (14.10) arată că numărul impulsurilor de la ieșirea comparatorului este proporțional cu tensiunea de măsurat. Aceste impulsuri sînt aplicate la intrarea unui numărător, care le numără, iar rezultatul numărării este decodificat și afișat numeric. Întrucît fiecărui impuls i se atribuie o anumită valoare a tensiunii, rezultatul poate fi exprimat numeric în volți.

O variantă mai perfecționată și mai răspîndită este voltmetrul cu dublă integrare (cu dublă rampă).

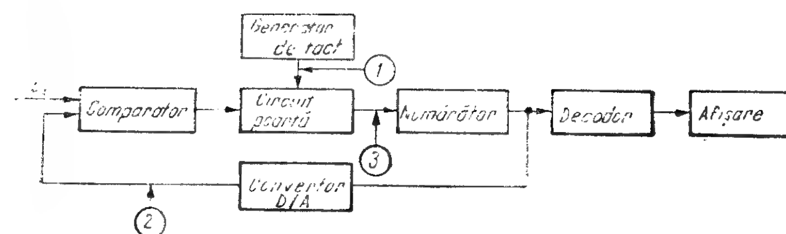
c. VOLTMERE DIGITALE CU CONVERTOR ANALOG-DIGITAL CU COMPENSARE CU TENSIUNE CRESCĂTOARE ÎN TREPTE

Metodele de măsurare cu compensare se bazează pe compararea tensiunii de măsurat cu o tensiune de referință variabilă generată în interiorul aparatului de măsurat digital de un convertor digital-analog. Acesta primește de la un bloc numeric o serie de impulsuri și dă la ieșire o tensiune ce variază în funcție de numărul impulsurilor primite.

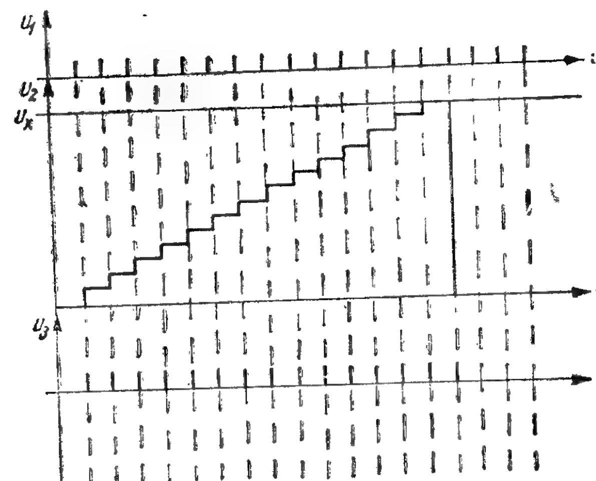
Tensiunea generată de convertorul digital-analog poate să varieze în trepte sau prin aproximații succesive.

● **Schema bloc** a unui voltmetru digital cu convertor analog-digital cu tensiunea crescătoare în trepte este prezentată în figura 14.16, *a*.

● **Funcționarea** (fig. 14.16, *b*). ***În situația inițială,*** circuitele bistabile $B_1 \ldots B_4$ ale registrului numeric sînt în starea zero, comutatoarele de nivel sînt blocate și, ca urmare, tensiunea de referință este zero. Circuitul comparator, primind o tensiune de măsurat



a



b

Fig. 14.16. Voltmetru digital cu compensare cu tensiune crescătoare în trepte:
a — schema bloc; *b* — funcționarea, tensiunile în punctele *1*, *2* și *3*.

$U_x > U_{ref}$, deschide poarta prin care încep să treacă spre registrul numeric impulsurile de la generatorul de tact.

Partea principală a acestui aparat o formează **convertorul analog-digital,** care conține un ***comparator,*** un ***circuit poartă*** și ***un convertor digital-analog.***

Comparatorul compară tensiunea de măsurat cu tensiunea de referință variabilă în trepte, generată de convertorul digital-analog. Atît timp cît $U_x < U_{ref}$, comparatorul comandă deschiderea circuitului poartă, prin care trec impulsurile de la generatorul de tact spre numărător.

Numărătorul numără impulsurile primite și comandă convertorul digital-analog.

Cînd tensiunea de referință egalează tensiunea de măsurat, comparatorul comandă închiderea circuitului poartă. În tot timpul cît poarta a fost deschisă, au trecut spre numărător impulsuri care au fost numărate. În același timp, numărătorul a comandat și convertorul digital-analog, deci valoarea tensiunii de referință depinde de numărul impulsurilor care au trecut prin poartă. Prin urmare, rezultatul numărării indică valoarea tensiunii de referință și — totodată — pe cea a tensiunii de măsurat.

Deoarece fiecărui impuls îi corespunde o treaptă elementară de variație a tensiunii de referință, rezultatul numărării, decodificat, poate fi afișat numeric direct în volți.

d. MULTIMETRE DIGITALE

Multimetrele digitale sînt aparate destinate să măsoare diferite mărimi electrice ca: tensiuni continue și alternative, intensități ale curentului, rezistențe ș.a.

• **Principiul de funcționare.** În principiu, aceste aparate sînt alcătuite dintr-un voltmetru digital de curent continuu, prevăzut cu diferite circuite auxiliare care îi lărgesc posibilitățile de măsurare

Astfel, *pentru măsurarea tensiunilor alternative*, semnalul de măsurat este transformat într-un semnal continuu cu ajutorul unor circuite de detecție.

Pentru măsurarea intensității curentului electric, curentul de măsurat este trecut prin rezistențe de precizie și se măsoară căderea de tensiune la bornele acestor rezistențe.

Pentru măsurarea rezistențelor, se trec prin ele curenți continui de precizie și se măsoară tensiunea la bornele lor.

Datorită unei precizii foarte bune și a comodității în manevrare, multimetrele numerice au căpătat o largă răspîndire, atît ca aparate de laborator, cît și ca aparate portabile.

• **Un exemplu de multimetru numeric** este *multimetrul portabil tip E 0—302*, produs de I.E.M.I. — București. Acest aparat măsoară:

— tensiuni continue de la 0,1 mV la 1 000 V;

— tensiuni alternative de la 0,1 mV la 350 V;

— intensități ale curentului continuu de la 0,1 μA la 1 A;

— intensități ale curentului alternativ de la 0,1 μA la 0,35 A;

— rezistențe de la 0,1 Ω la 2 MΩ.

Precizia aparatului este de $0,5 \cdot 10^{-3}$. Afișarea se realizează cu diode electroluminescente.

PROBLEME ȘI INTREBĂRI RECAPITULATIVE

1. De ce aparatele de măsurat digitale sînt frecvent folosite în tehnica modernă?
2. Cît este rezoluția la un aparat care afișează cinci cifre, pe scara de 100 V (99,999V)?
3. Ce număr zecimal corespunde numărului binar 110 110?
4. Ce număr zecimal corespunde numărului binar zecimal 0001 1001 1000 0000?
5. Dacă un circuit bistabil ca cel din figura 14.3 este în starea 1 și i se aplică un impuls negativ pe intrarea 1, în ce stare va fi după aplicarea impulsului? Dar dacă impulsul negativ se aplică pe intrarea *C*, ce se va întîmpla?
6. Dacă un circuit bistabil ca cel din figura 14.3. este în starea 1, cum poate fi trecut în starea 0?
7. La un dispozitiv de afișare cu diode electroluminescente ca în figura 14.8 ce diode rămîn blocate cînd se afișează cifra 3? Dar cînd se afișează cifra 1, ce diode conduc?
8. De ce în ultimul timp dispozitivele de afișare cu cristale au căpătat o largă utilizare?
9. La un frecvențmetru digital, dacă durata măsurării este de 0,1 s și se numără 10 000 de impulsuri corespunzătoare perioadelor semnalului de măsurat, ce frecvență se măsoară?
10. În timpul măsurării unui interval de timp cu un cronometru digital avînd frecvența bazei de timp 1 000 Hz, trec spre numărător 22 500 impulsuri. Cît este valoarea intervalului de timp măsurat?

Capitolul 15

APARATE PENTRU MĂSURAREA DISPOZITIVELOR SEMICONDUCTOARE

În ultima vreme dispozitivele semiconductoare au căpătat largă utilizare în cele mai diferite domenii ale tehnicii și cunoașterea mai exactă a proprietăților acestora prin efectuarea unor măsurări a devenit din ce în ce mai necesară. Ca urmare, au fost elaborate diferite metode de măsurare și s-au construit diverse aparate pentru măsurarea și testarea dispozitivelor semiconductoare.

Pentru măsurarea tranzistoarelor, caracterizate printr-un număr mare de parametri și prin dispersia mare a acestora, au fost realizate diferite tipuri de aparate, cu diferite grade de complexitate.

A. TRANZISTORMETRE

Tranzistormetrele sînt *aparate destinate să evalueze rapid principalii parametrii funcționali ai tranzistoarelor.*

1. BETAMETRELE

Cele mai simple tranzistormetre permit alimentarea tranzistoarelor corespunzător unui anumit punct static de funcționare și măsurarea factorului de amplificare în curent, în montaj emitor comun, cunoscut sub numele de „beta" (β) (de unde denumirea de *betametre* dată acestor aparate). Există foarte multe tipuri constructive de betametre.

Un exemplu de astfel de aparat este **tranzistormetrul tip E-0702**, construit de I.E.M.I.—București. Acesta este un aparat de laborator destinat verificării și măsurării tranzistoarelor *npn* și *pnp* de mică putere și a diodelor semiconductoare.

Tranzistormetrul tip E-0702 permite:

— determinarea dispozitivelor semiconductoare defecte;

— măsurarea diodelor;

— alimentarea tranzistorului corespunzător unui punct static de funcționare;

— măsurarea factorului de amplificare în curent, în montaj emitor comun (h_{21e});

— măsurarea curentului rezidual.

2. TRANZISTORMETRE PENTRU MĂSURAREA TUTUROR PARAMETRILOR „h"

Unele tranzistormetre sînt mai complexe, permițînd măsurarea tuturor parametrilor „h" (h_{11}, h_{12}, h_{21}, h_{22}). Cunoașterea parametrilor hibrizi („h") ai unui tranzistor este foarte importantă, deoarece ei stau la baza principalelor formule de calcul pentru circuitele tranzistorizate. Măsurarea lor este comodă, deoarece se efectuează cu intrarea tranzistorului în gol și ieșirea în scurtcircuit, condiții care sînt ușor de realizat în practică.

○ **Notă.** Deoarece parametrii „h" caracterizează funcționarea tranzistoarelor în curent alternativ, în cele ce urmează se vor nota cu *i* și *u* componentele alternative ale curenților și tensiunilor.

Există diferite tipuri de tranzistormetre care măsoară toți parametrii „h". În general, ele se compun din mai multe elemente care se comută între ele pentru a realiza montajele necesare măsurării fiecărui parametru „h". Se va analiza în continuare funcționarea unui astfel de aparat.

Pentru măsurarea parametrilor „h" este necesar ca tranzistorul de măsurat să fie alimentat în curent continuu. În acest scop se folosește schema din figura 15.1, *a* pentru montajul bază comună și schema din figura 15.1, *b* pentru montajul emitor comun.

În *circuitul de polarizare pentru montajul emitor comun*, emitorul este pus la masă pentru curentul alternativ prin condensatorul C_2 de

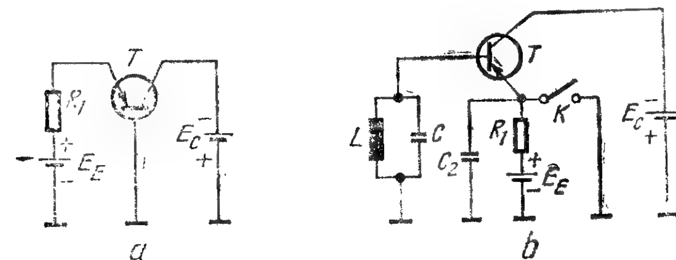


Fig. 15.1. Alimentarea în c.c. a tranzistoarelor.

reactanță foarte mică, iar baza este polarizată în curent continuu prin intermediul unui circuit LC acordat pe frecvența de lucru f_0. În acest mod, la frecvența f_0 circuitul LC prezentînd o impedanță mare ($Z_0 = Q\omega_0 L$), izolează în c.a. baza față de masă, în timp ce în c.c. se comportă ca o rezistență mică (rezistența bobinei), asigurînd polarizarea corectă pentru bază. Comutatorul K se deschide numai cînd se fac măsurările; în restul timpului el stă închis, pentru a împiedica încărcarea condensatorului C_2 de la tensiunea E_E în cazul în care tranzistorul nu este în soclu.

● **Măsurarea parametrului h_{11}** se realizează cu montajele din figura 15.2. Parametrul h_{11} reprezintă impedanța de intrare cu ieșirea în scurtcircuit:

$$h_{11} = \left| \frac{u_1}{i_1} \right|_{u_2=0} \qquad (45.1)$$

Pentru măsurarea parametrului h_{11}, peste alimentarea de curent continuu se injectează în circuitul de intrare un curent cunoscut i_1 de la un generator de curent constant (generatorul de tensiune în serie cu rezistența R_g de valoare foarte mare) și se măsoară cu voltmetrul V_1 tensiunea u_1. Condiția de scurtcircuit la ieșire, în ceea ce privește c.a., se realizează cu ajutorul condensatorului C_1, a cărui reactanță trebuie să fie mult mai mică decît impedanța de ieșire a tranzistorului.

● **Măsurarea parametrului h_{12}** se realizează cu montajele din figura 15.3. Parametrul h_{12} reprezintă reacția internă a tranzistorului cînd intrarea este în gol:

$$h_{12} = \left| \frac{u_1}{u_2} \right|_{i_1=0} \qquad (15.2)$$

Deoarece $i_1 = 0$, semnalul alternativ se aplică în circuitul de ieșire sub forma unei tensiuni u_2, prin intermediul unui transformator. Tensiunile u_1 și u_2 se măsoară cu voltmetrele electronice V_1 și respectiv

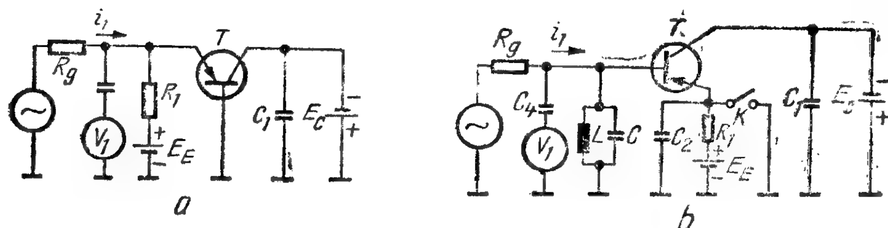


Fig. 15.2. Măsurarea parametrului h_{11}:
a — montaj bază comună; *b* — montaj emitor comun.

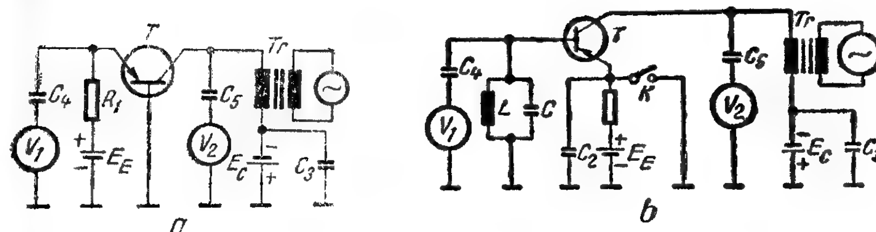


Fig. 15.3. Măsurarea parametrului h_{12}:
a — montaj bază comună; *b* — montaj emitor comun.

V_2. Condiția $i_1 = 0$ este satisfăcută la montajul bază comună (fig. 15.3, *a*) dacă R_1 în paralel cu rezistența voltmetrului V_1 este mult mai mare decît impedanța de intrare a tranzistorului. La montajul emitor comun condiția este satisfăcută dacă rezistența voltmetrului V_1 în paralel cu impedanța Z_0 (a circuitului LC) este mult mai mare decît impedanța de intrare.

Condensatorul C_3 scurtcircuitează în c.a. sursa E_C, astfel încît componentele alternative să nu treacă prin sursă.

● **Măsurarea parametrului h_{21}** se realizează cu montajele din figura 15.4. Parametrul h_{21} reprezintă factorul de amplificare în curent cînd ieșirea este în scurtcircuit:

$$h_{21} = \left| \frac{i_2}{i_1} \right|_{u_2=0} \qquad (15.3)$$

Pentru măsurare, peste alimentarea de curent continuu se injectează în circuitul de intrare un curent cunoscut i_1 de la un generator de curent constant, iar în circuitul de ieșire se măsoară căderea de tensiune de la bornele rezistenței R_s cu voltmetrul V_2. Intensitatea curentului i_2 se calculează cu formula $i_2 = \frac{u_2}{R_s}$. Condiția $u_2 = 0$ este satisfăcută dacă R_s este mult mai mică decît impedanța de ieșire a tranzistorului. Condensatorul C_3, care în c.a. scurtcircuitează sursa

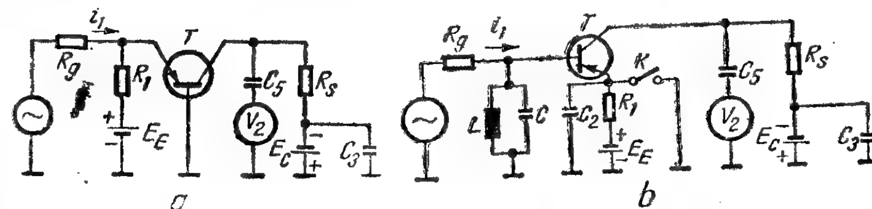


Fig. 15.4. Măsurarea parametrului h_{21}:
a — montaj bază comună; *b* — montaj emitor comun.

E_c, trebuie să aibă reactanța mult mai mică decît R_s pentru ca pe C_3 căderea de tensiune alternativă să fie neglijabilă.

● **Măsurarea parametrului** h_{22} se realizează cu montajele din figura 15.5. Parametrul h_{22} reprezintă admitanța de ieșire cu intrarea în gol.

$$h_{22} = \left| \frac{u_2}{i_2} \right|_{i_1=0} \qquad (15.4)$$

Semnalul alternativ se aplică pe ieșire, peste alimentarea de curent continuu, sub forma unei tensiuni u_2, prin intermediul unui transformator. Tensiunea u_2 se măsoară cu voltmetrul V_2, iar curentul i_2 se măsoară indirect, prin căderea de tensiune la bornele rezistenței R_s montate în bază $\left(i_2 = \frac{u_{R_s}}{R_s}\right)$. Condiția $i_1 = 0$ se realizează dacă R_1 este mult mai mare decît impedanța de intrare a tranzistorului pentru montajul bază comună și dacă Z_0 este mult mai mare decît impedanța de intrare a tranzistorului pentru montajul emitor comun.

În cazul montajului bază comună ar trebui ca rezistența R_s montată în bază să fie cît mai mică. Avînd în vedere că $i_1 = 0$, $i_2 = i_b$, deci este un curent foarte mic, ceea ce face ca și u_{R_s} să fie foarte mică, și să fie nevoie de un voltmetru foarte sensibil pentru a o măsura. Pentru a putea folosi voltmetre mai puțin pretențioase, se folosește o rezistență R_s de valoare mai mare în paralel cu un circuit LC acordat pe frecvența de lucru, care în c.a. prezintă o impedanță foarte mare, neglijabilă față de R_s, iar în c.c. se comportă ca o rezistență mică (rezistența bobinei), care asigură polarizarea corectă a bazei.

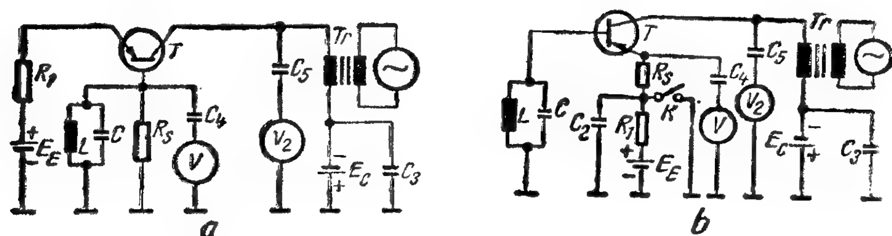


Fig. 15.5. Măsurarea parametrului h_{22}:
a — montaj bază comună; b — montaj emitor comun.

B. CARACTEROGRAFE

Caracterografele *sînt aparate care permit vizualizarea caracteristicilor statice ale tranzistoarelor pe ecranul unui tub catodic.* Pentru ca pe ecranul unui tub catodic să apară o caracteristică $I_C = f(U_{CE})$, este necesar ca între plăcile de deflexie pe orizontală să se aplice o tensiune proporțională cu U_{CE}, iar între plăcile de deflexie pe verticală să se aplice o tensiune proporțională cu I_C. Tensiunea U_{CE} trebuie să varieze de la zero la valoarea maximă pentru care interesează caracteristica.

Pentru a se obține o familie de caracteristici corespunzătoare la diferite valori ale intensității curentului de bază, acesta va fi variat în trepte. Dacă treptele se succed cu o frecvență suficient de mare, datorită remanenței ecranului și remanenței ochiului omenesc, pe ecran se văd toate caracteristicile simultan.

● **Schema bloc** a unui caracterograf este reprezentată în figura 15.6. Redresorul alimentează colectorul tranzistorului cu tensiune pulsatorie, asigurînd variația periodică a tensiunii U_{CE} de la zero la o valoare maximă care poate fi reglată cu un autotransformator reglabil montat pe intrarea redresorului.

Pentru ca pe ecranul tubului catodic să apară caracteristica de vizualizat, tensiunea U_{CE} se aplică în același timp și la plăcile X ale tubului catodic prin intermediul amplificatorului $A_x (U_x = KU_{CE})$, iar la plăcile Y se aplică, prin intermediul amplificatorului A_y, o tensiune proporțională cu intensitatea curentului I_C. Această tensiune se culege de la bornele rezistenței R_C montate în colectorul tranzistorului de măsurat, deci parcurse de curentul de colector al acestuia ($U_y = R_C I_C$).

Pentru obținerea mai multor caracteristici corespunzătoare la mai multe valori ale intensității curentului de bază I_B, acesta este

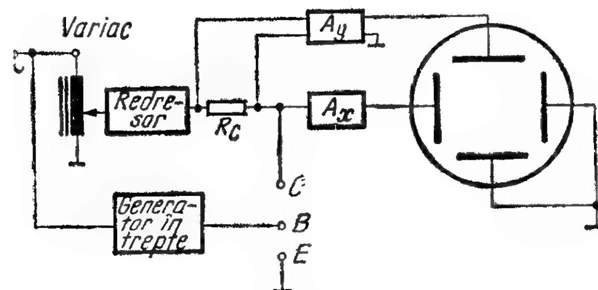


Fig. 15.6. Schema bloc simplificată a unui caracterograf.

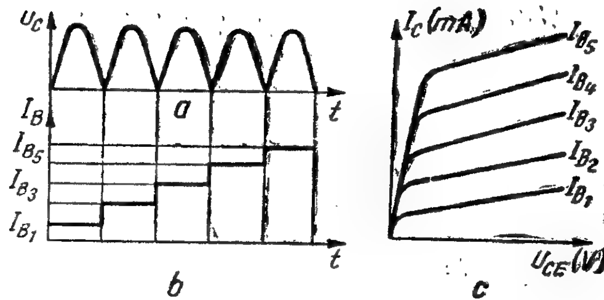


Fig. 15.7. Variaţia tensiunii de colector (*a*); variaţia în trepte a curentului de bază (*b*); caracteristicile care se vizualizează (*c*).

variat în trepte de generatorul în trepte, care este sincronizat cu tensiunea de colector. Fiecărei trepte îi corespunde un anumit I_B, deci o anumită caracteristică.

● **Funcţionarea.** După cum arată diagramele din figura 15.7, în timpul primei variaţii a tensiunii de colector (în timpul primei alternanţe redresate) curentul de bază I_B are valoarea corespunzătoare primei trepte şi se vizualizează prima caracteristică (cea mai de jos din figura 15.7, *c*). La a doua variaţie a tensiunii de colector (în timpul celei de-a doua alternanţe redresate) curentul I_B are o nouă valoare, corespunzătoare celei de-a doua trepte şi se vizualizează cea de-a doua caracteristică ş.a.m.d. Dacă treptele se succed suficient de repede, pe ecran se văd toate caracteristicile simultan.

○ **Notă.** În afara vizualizării de caracteristici, pe caracterograf se pot determina şi valorile unor parametri cum ar fi: h_{21e}, I_{CEO} etc. De asemenea, există posibilitatea selectării tranzistoarelor perechi.

PROBLEME ŞI ÎNTREBĂRI RECAPITULATIVE

1. De ce sînt necesare măsurările asupra dispozitivelor semiconductoare?
2. Enumeraţi elementele componente ale tranzistorului pentru măsurarea tuturor parametrilor „h"!
3. Cum se realizează condiţia de gol la intrare în cazul tranzistormetrului studiat? Dar condiţia de scurtcircuit la ieşire?

Capitolul 16

GENERATOARE DE SEMNAL

A. GENERALITĂŢI

Generatoarele de semnal sînt aparate auxiliare folosite în tehnica măsurărilor. Aceste aparate produc semnale electrice de forme şi frecvenţe diferite, care imită semnalele cu care lucrează în mod normal circuitele electrice şi electronice. Ele se folosesc la verificarea, reglarea, depanarea şi măsurarea diferitelor aparate şi instalaţii.

De exemplu, pentru verificarea unui radioreceptor trebuie să se aplice la intrarea acestuia un semnal sinusoidal modulat în amplitudine sau în frecvenţă, asemănător cu semnalul captat de antena radioreceptoare în funcţionarea lui normală; la măsurări asupra unui calculator trebuie să i se aplice acestuia semnale sub forma unor impulsuri, asemănătoare cu cele furnizate de echipamentele periferice de intrare ale calculatoarelor etc.

1. CLASIFICARE

Generatoarele de semnal se pot clasifica după mai multe criterii.

● **După forma semnalului generat,** generatoarele pot fi:

— *generatoare de semnale sinusoidale*, care la rîndul lor pot fi nemodulate sau modulate în amplitudine *(MA)* sau în frecvenţă *(MF)*;

— *generatoare de impulsuri dreptunghiulare*;

— *generatoare de tensiuni liniar-variabile (TLV)*, tensiuni care pot avea forma unor triunghiuri isoscele sau forma dinţilor de ferăstrău;

— *generatoare de impulsuri scurte* (durata impulsurilor este mult mai mică decît perioada lor de repetiţie);

— *generatoarele de funcţii*, care pot genera semnale de mai multe forme (sinusoidale, dreptunghiulare, tensiuni liniar-variabile, impulsuri scurte şi altele).

● **După frecvenţa semnalului generat,** generatoarele pot fi:

— *generatoare de joasă frecvenţă*, care generează semnale cu frecvenţe cuprinse între fracţiuni de herţi şi megaherţi;

— *generatoare de audiofrecvenţă* (20 Hz—20 kHz);

— *generatoare de videofrecvenţă* (10 Hz—10 kHz);
— *generatoare de înaltă frecvenţă sau de radiofrecvenţă*, care generează semnale cu frecvenţe cuprinse între zeci de kiloherţi şi zeci de gigaherţi.

2. CARACTERISTICI TEHNICE

La alegerea unui generator de semnale în scopul unei anumite utilizări, trebuie avute în vedere o serie de caracteristici tehnice care vor fi prezentate în continuare:

— *forma semnalului*, care poate fi sinusoidală, dreptunghiulară, liniar-variabilă, impulsuri scurte etc.;

— *intervalul de frecvenţă*, definit prin frecvenţa minimă şi frecvenţă maximă la care poate lucra aparatul. La unele generatoare se indică şi gamele de frecvenţă, adică intervalele în care frecvenţa poate fi variată continuu;

— *nivelul maxim la ieşire*. În general se indică tensiunea la ieşire, ca amplitudine la semnalele nesinusoidale sau ca valoare eficace în cazul semnalelor sinusoidale. La generatoarele de înaltă frecvenţă se specifică de obicei puterea maximă obţinută la ieşire;

— *atenuarea maximă*, cea continuă şi — dacă există — şi cea în trepte, specificată de obicei în decibeli;

— *impedanţa de ieşire*. De obicei generatoarele se realizează ca *generatoare de tensiune constantă*. În acest caz, impedanţa generatorului trebuie să fie mult mai mică decît impedanţa de sarcină ($Z_g \ll Z_s$). Impedanţa de ieşire la generatoarele de tensiune constantă este de ordinul ohmilor sau zecilor de ohmi. Există şi *generatoare de curent constant*, la care impedanţa de ieşire trebuie să fie mult mai mare decît impedanţa de sarcină ($Z_g \gg Z_s$). În acest caz, impedanţa de ieşire a generatorului este de zeci sau sute de kiloohmi. La nevoie, un generator de tensiune constantă se poate transforma într-un generator de curent constant, dacă i se adaugă în serie o impedanţă suficient de mare. Uneori este necesar să se realizeze o adaptare între generator şi impedanţa de sarcină ($Z_g = Z_s$). În acest scop, unele generatoare sînt prevăzute şi cu o ieşire pe o impedanţă standardizată Z_0 (50 Ω, 75 Ω, 200 Ω, 600 Ω);

— *caracteristica de frecvenţă*, care reprezintă variaţia nivelului semnalului de la ieşire în funcţie de frecvenţă. Se exprimă de obicei în decibeli;

— *stabilitatea de frecvenţă*, care se defineşte prin raportul $\frac{\Delta f}{f}$ între variaţia nedorită a frecvenţei şi frecvenţa de oscilaţie;

— *stabilitatea de amplitudine*, care se defineşte prin raportul $\frac{\Delta U}{U}$ între variaţia nedorită a amplitudinii şi amplitudinea U a tensiunii la ieşire;

— *distorsiunile neliniare*, care apar datorită neliniarităţii unor componente electronice. În cazul semnalelor sinusoidale, distorsiunile neliniare se apreciază prin coeficientul de distorsiuni neliniare:

$$\delta = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \ldots + U_n^2}}{U_1} 100 \; [\%] \qquad (16.1)$$

unde U_2, U_3, ... U_n sînt amplitudinile unor semnale nedorite de frecvenţe $2f$, $3f$, ... nf (armonici), iar U_1 este amplitudinea semnalului sinusoidal fundamental (de frecvenţă dorită);

— *parametrii de modulaţie*. În cazul semnalelor modulate se specifică frecvenţa de modulaţie, gradul de modulaţie m la modulaţia de amplitudine sau deviaţia de frecvenţă Δf în cazul modulaţiei de frecvenţă;

În cazul generatoarelor de impulsuri se indică:

— *durata impulsurilor*;

— *factorul de umplere*, definit ca raportul între durata impulsurilor şi durata perioadei de repetiţie;

— *durata fronturilor*, definită prin timpul în care tensiunea creşte de la 10% la 90% din amplitudinea sa.

B. GENERATOARE DE SEMNALE SINUSOIDALE

Generatoarele de semnale sinusoidale sînt cele mai răspîndite. Ele se caracterizează prin faptul că semnalul generat trebuie să conţină o singură componentă sinusoidală:

$$u = U_{max} \sin 2\pi ft. \qquad (16.2)$$

Generatoarele sinusoidale au de obicei o **schemă bloc** ca cea reprezentată în figura 6.1 şi conţin: un *oscilator*, un *etaj separator*, un *amplificator* şi un *atenuator*.

● **Oscilatorul** este circuitul în care se produc oscilaţiile sinusoidale întreţinute. Frecvenţa acestor oscilaţii depinde de parametrii elementelor de circuit ce compun oscilatorul (rezistenţe, capacităţi au inductanţe) şi poate fi variată în trepte sau continuu, prin modificarea parametrilor respectivi.

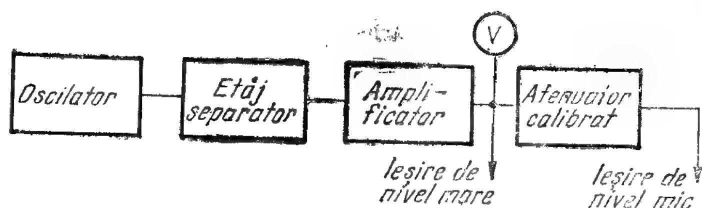


Fig. 16.1. Schema bloc a unui generator de semnale sinusoidale.

● **Etajul separator** separă oscilatorul de sarcină de la ieşirea generatorului, pentru ca regimul de funcţionare al oscilatorului să nu fie influenţat de variaţiile impedanţei de sarcină, care variază în limite largi de la o măsurare la alta.

● **Amplificatorul** amplifică semnalele generate de oscilator, asigurînd nivelul maxim la ieşirea generatorului şi impedanţa de ieşire necesară. Ieşirea amplificatorului este şi ieşirea de nivel mare a generatorului la care se obţine o tensiune de ordinul volţilor, reglabilă continuu cu un potenţiometru montat în amplificator. Nivelul semnalului obţinut la ieşirea de nivel mare este indicat de un voltmetru electronic sau este marcat pe potenţiometrul ce reglează acest nivel.

● **Atenuatorul** are rolul de a reduce semnalul de ieşire de un anumit număr de ori, fără a-l deforma. Atenuatoarele sînt de obicei calibrate, adică se indică pentru fiecare poziţie atenuarea introdusă. De exemplu, $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{100}$, -10 dB, -20 dB.

După modul în care se obţin oscilaţiile, **generatoarele de semnale sinusoidale** sînt de *tip LC* sau de *tip RC*.

1. GENERATOARE DE SEMNALE SINUSOIDALE DE TIP *RC*

Generatoarele *RC* generează semnale de la fracţiuni de herţ la megaherţi.

Pentru obţinerea semnalelor sinusoidale, aceste generatoare folosesc oscilatoare de tip *RC*.

○ **Observaţie.** Oscilatoarele de tip *RC* sînt de fapt amplificatoare cu reacţie pozitivă selectivă.

Reacţia în amplificatoarele electronice constă în aplicarea unei părţi din semnalul de la ieşirea amplificatorului la intrarea acestuiai printr-un circuit de reacţie (fig. 16.2, *a*). Dacă semnalul care se

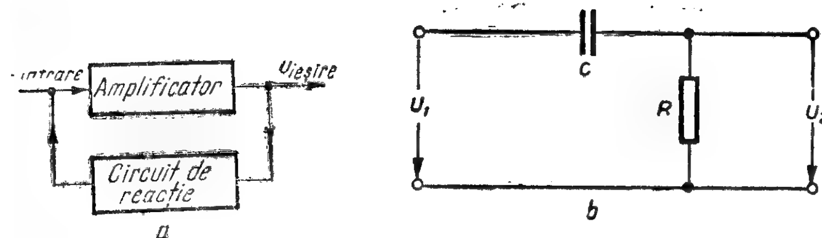


Fig. 16.2. Amplificator cu reacţie (*a*); circuit de defazare (*b*).

întoarce este în fază cu semnalul de la intrare, *reacţia* este *pozitivă*, iar dacă este în antifază — *reacţia* este *negativă*. *Reacţia pozitivă selectivă* este o reacţie care devine pozitivă pentru o singură frecvenţă.

În teoria amplificatoarelor se demonstrează că:

$$A' = \frac{A}{1 - \beta A}, \tag{16.3}$$

unde:

A' este amplificarea cu reacţie;

A — amplificarea fără reacţie;

$\beta = \frac{U_{reacţie}}{U_{ieşire}}$ — factorul de reacţie.

Se observă că *în cazul în care* $\beta A = 1$ *amplificarea cu reacţie devine infinită şi* **amplificatorul se transformă într-un oscilator,** adică prezintă semnal la ieşire chiar dacă nu i se aplică nici un semnal la intrare.

Relaţia $\beta A = 1$ reprezintă *condiţia de oscilaţie*, cunoscută şi sub numele de *condiţia lui Barkhausen.*

Pentru ca reacţia să fie pozitivă, deci pentru ca semnalul de reacţie să fie în fază cu semnalul de la intrare, trebuie ca:

$$\varphi_A + \varphi_\beta = 2K\pi, \tag{16.4}$$

unde φ_A este defazajul introdus de amplificator, iar φ_β este defazajul introdus de circuitul de reacţie.

a. OSCILATOARE *RC* CU DEFAZARE

În general, un etaj de amplificare introduce între intrarea şi ieşirea sa un defazaj de π rad. Dacă amplificatorul este realizat cu un singur etaj de amplificare, *circuitul de reacţie trebuie să introducă şi el un defazaj de* π pentru ca pe total să se obţină $2K\pi$.

● **Defazajul se poate obţine** fie *cub obine*, fie *cu condensatoare*, dar în practică se preferă condensatoarele, deoarece sînt mai uşor de realizat.

Se ştie că un condensator ideal, alimentat în curent alternativ sinusoidal, defazează curentul înaintea tensiunii cu $\frac{\pi}{2}$ rad. Condensatoarele reale însă introduc un defazaj ceva mai mic de $\frac{\pi}{2}$ rad. Din acest motiv, pentru a obţine un defazaj de π sînt necesare cel puţin trei condensatoare. Acestea se combină cu rezistenţe, formînd circuite *RC*.

În figura 16.2, *b* este reprezentat un circuit *RC* pentru care se poate demonstra că defazajul între tensiunea de intrare U_1 şi tensiunea de ieşire U_2 este dat de relaţia:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{X_C}{R} = \frac{1}{2\pi f C R}. \tag{16.5}$$

În relaţia (16.5) se observă că defazajul este dependent de frecvenţă; pentru anumite valori ale lui *R* şi *C* se obţine defazajul dorit numai pentru o singură frecvenţă.

Folosind asemenea circuite se poate realiza o reacţie pozitivă selectivă, deci se pot obţine oscilatoare *RC*.

● După poziţia grupurilor *RC*, se pot întîlni două **variante de oscilator *RC* cu defazare.** În figura 16.3 este reprezentată schema unui *oscilator RC cu reţea de defazare de tip trece-sus*, la care frecvenţa de oscilaţie se poate calcula cu formula

$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC\sqrt{6 + \frac{4R_C}{R}}}, \tag{16.6}$$

unde *R*, *C* şi R_C sînt specificate pe figură.

În figura 16.4 este reprezentată schema *oscilatorului RC cu reţea de defazare de tip trece-jos*, la care frecvenţa de oscilaţie se poate calcula cu formula:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC}\sqrt{6 + \frac{4R_C}{R}}, \tag{16.7}$$

unde *R*, *C* şi R_C sînt specificate pe figură.

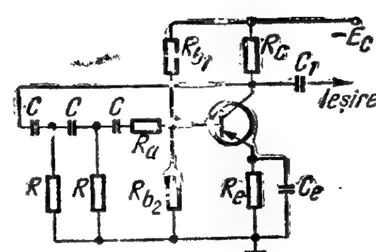


Fig. 16.3. Oscilator *RC* cu reţea trece-sus.

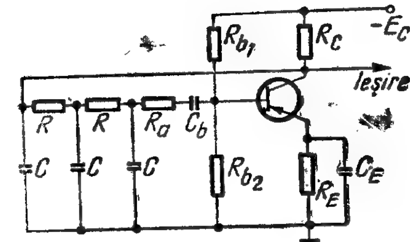


Fig. 16.4. Oscilator *RC* cu reţea trece-jos.

b. OSCILATOARE *RC* CU DEFAZAJ NUL

● **Dacă** oscilatorul este realizat cu două etaje de amplificare, acestea introduc un defazaj de 2π rad şi, în consecinţă, circuitul de reacţie trebuie să prezinte un defazaj nul. Pentru ca reacţia să fie selectivă, defazajul nul trebuie să se obţină numai pentru o singură frecvenţă. În acest scop se folosesc circuite selective, cum sînt:

— ***puntea Wien*** (fig. 16.5, *a*);
— ***circuitul dublu T*** (fig. 16.5, *b*);
— ***circuitul în T podit*** (fig. 16.5, *c*).

● În fitura 16.6 este reprezentată **schema unui oscilator cu punte Wien realizat cu două etaje de amplificare.** Circuitul de reacţie este sub forma unei punţi Wien, în care R_1C_1, R_2C_2, R_3 şi R_4 alcătuiesc cele patru braţe. Pe o diagonală puntea primeşte semnal de la ieşirea amplificatorului (punctele *C*, *D*), iar pe cealaltă diagonală se obţine semnal de reacţie ce se aplică la intrarea amplificatorul 1 (punctele *A*, *B*).

Cînd puntea este în echilibru, defazajul este nul şi se îndeplineşte condiţia de reacţie pozitivă. Echilibrarea punţii se realizează

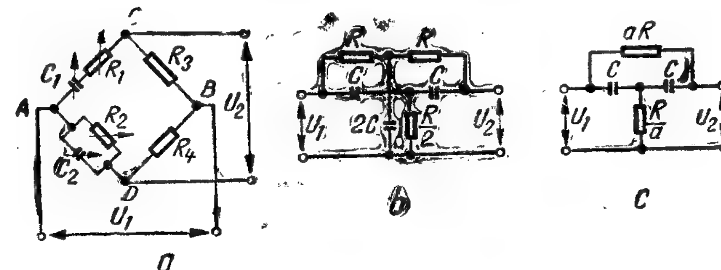


Fig. 16.5. Circuite selective folosite în oscilatoare *RC* cu defazaj nul.

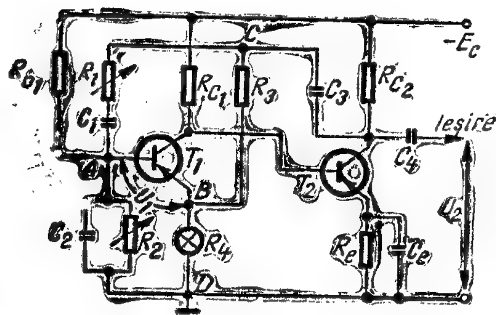


Fig. 16.6. Oscilator *RC* cu punte Wien.

însă numai pentru o singură frecvenţă:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1C_1R_2C_2}} \quad (16.8)$$

Dacă $R_1=R_2=R$ şi $C_1=C_2=C$, relaţia (16.8) devine

$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC}, \quad (16.9)$$

Frecvenţa de oscilaţie se poate regla variind rezistenţele R sau condensatoarele C. De obicei, una dintre mărimi se schimbă în trepte schimbînd gama de frecvenţe, iar cealaltă variază continuu obţinîndu-se variaţia frecvenţei în cadrul unei game.

Pentru *stabilizarea amplitudinii tensiunii de ieşire*, rezistenţa R_4 din emitorul tranzistorului T_1 este realizată cu un bec. Cînd curentul de emitor creşte, becul se încălzeşte, rezistenţa R_4 creşte şi ca urmare amplificarea scade, reducînd amplitudinea curentului de emitor.

2. OSCILATOARE *LC*

După cum le spune şi numele, oscilatoarele *LC* conţin un *circuit oscilant LC* şi un *amplificator cu reacţie pozitivă*.

Sub acţiunea unui impuls de energie, circuitele *LC* au proprietatea de a oscila liber, producînd oscilaţii sinusoidale a căror frecvenţă depinde de valorile inductanţei L şi capacităţii C:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}. \quad (16.10)$$

Un circuit *LC*, singur, produce oscilaţii, dar nu le poate întreţine. Datorită pierderilor de energie pe rezistenţele proprii ale bobinei şi condensatorului, oscilaţiile au amplitudinile din ce în ce mai mici, adică sînt amortizate. Pentru ca amplitudinea să rămînă constantă, este necesar să se compenseze pierderile de energie folosind elemente active de circuit (tuburi electronice sau tranzistoare). În acest caz, tubul electronic sau tranzistorul este alimentat cu energie de c.c., pe care o transformă în energie de c.a. ce este apoi cedată circuitului *LC* în ritmul de oscilaţie al acestuia (la fiecare oscilaţie circuitul *LC* primeşte o cantitate de energie egală cu cea pe care el o pierde).

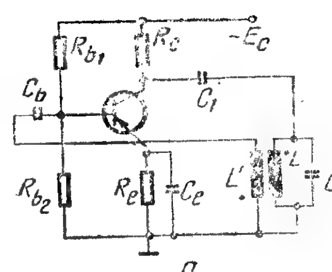


Fig. 16.7. Oscilatoare *LC* cu cuplaj inductiv.

Elementul activ de circuit — tubul electronic sau tranzistorul — trebuie să funcţioneze cu reacţie pozitivă. Aceasta se poate realiza prin *cuplaj inductiv* sau cu *montaje în trei puncte*.

● Exemple de **oscilatoare cu cuplaj inductiv** realizate cu tranzistoare sînt prezentate în figura 16.7. La aceste oscilatoare reacţia între circuitul de colector (de ieşire) şi circuitul de bază (de intrare) se realizează prin bobine cuplate inductiv, dintre care una face parte din circuitul oscilant. Circuitul oscilant poate fi conectat în colectorul tranzistorului (fig. 16.7, *a*) sau în baza acestuia (fig. 16.7, *b*).

● La **oscilatoarele în trei puncte**, legătura între circuitul *LC* şi elementul activ de circuit se face în trei puncte, alegînd o priză pe circuitul oscilant. Se pot realiza două variante de oscilator în trei puncte: *cu priză pe bobină*, numit şi oscilator de *tip Hartley* (fig. 16.8, *a*) sau *cu priză pe condensator*, numit şi oscilator de *tip Colpitts* (fig. 16.8, *b*). În ambele variante, pentru a se obţine reacţia pozitivă priza este

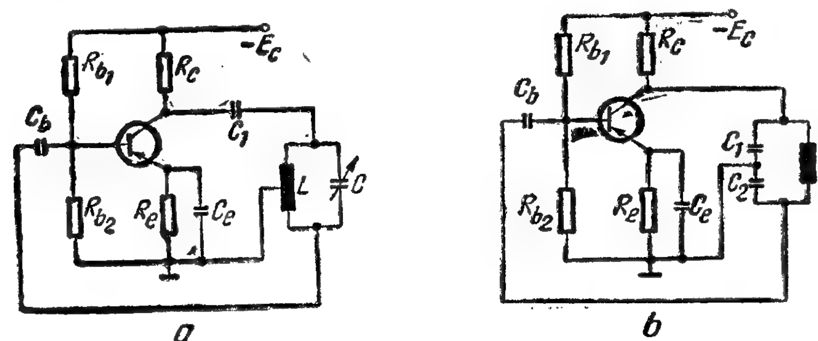


Fig. 16.8. Oscilatoare *LC* în trei puncte:
a — Hartley; *b* — Colpitts.

legată la emitorul tranzistorului. În acest mod, semnalul aplicat pe bază de la un capăt al circuitului LC este în antifază cu semnalul din colector, deci de la celălalt capăt al circuitului LC. Tranzistorul introduce un defazaj de 180°, astfel încît după amplificare semnalul ajunge în colector în fază cu semnalul de pe circuitul oscilant, deci se obține reacție pozitivă.

○ **Notă.** Oscilatoarele LC se realizează de obicei pentru frecvențe înalte. La frecvențe joase inductanța L și capacitatea C ar trebui să aibă valori foarte mari, ceea ce se obține mai greu în practică.

Frecvența semnalului generat se poate varia modificînd inductanța L sau capacitatea C. De obicei variațiile continue se realizează prin variația capacității, iar variațiile în trepte (schimbarea gamelor) — prin comutarea bobinelor.

C. GENERATOARE DE SEMNALE DREPTUNGHIULARE

Pe lîngă semnalele sinusoidale, în tehnica măsurărilor electrice și electronice se folosesc frecvent și semnale dreptunghiulare. Aceste semnale, reprezentate în figura 16.9, se caracterizează prin *paliere*, în timpul cărora tensiunea rămîne constantă, și prin *fronturi* în timpul cărora tensiunea variază rapid între două valori. Cu cît durata fronturilor este mai mică, cu atît forma semnalului este mai apropiată de forma dreptunghiulară.

Semnalele dreptunghiulare se pot obține *din semnale sinusoidale*, prin amplificări și limitări succesive, sau *direct*, folosind circuite basculante.

1. GENERATOARE DE SEMNALE DREPTUNGHIULARE CU LIMITOARE

Generatoarele de semnale dreptunghiulare cu limitări și amplificări succesive (fig. 16.10) sînt alcătuite dintr-un oscilator (generator de semnale sinusoidale) și mai multe etaje de amplificare și limitare.

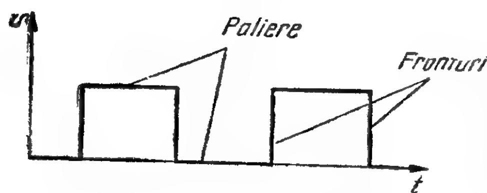


Fig. 16.9. Semnal dreptunghiular.

● **Oscilatorul sinusoidal** poate fi de tip LC sau RC.

● **Amplificatoarele** folosite în aceste generatoare trebuie să fie de bandă largă pentru a amplifica toate componentele semnalelor dreptunghiulare.



Fig. 16.10. Schema bloc a unui generator de semnale dreptunghiulare, cu amplificări și limitări succesive.

● **Limitatoarele** sînt circuite care mențin tensiunea la ieșirea lor constantă, dacă tensiunea ce li se aplică la intrare depășește un anumit nivel, numit *prag de limitare*. Limitatoarele se pot realiza *cu diode* sau *cu tranzistoare*.

Un *limitator cu diode* este reprezentat în figura 16.11, *a*. El conține două diode polarizate invers cu cîte o tensiune E și o rezistență R de valoare mult mai mare decît rezistența de conducție a diodelor. Dacă la intrarea unui astfel de circuit se aplică o tensiune sinusoidală u_1, atît timp cît $|u_1| < E$ ambele diode sînt blocate și tensiunea de la ieșirea circuitului va urmări tensiunea de la intrare ($u_2 = u_1$). Cînd $|u_1| > E$, dioda care are anodul mai pozitiv decît catodul va conduce și tensiunea de la ieșirea limitatorului va fi constantă și egală cu E (neglijînd căderea de tensiune pe diodă). Graficul de variație a tensiunilor u_1 și u_2 este reprezentat în figura 16.11, *b*.

Din graficul $u_2 = f(t)$ se observă că la ieșirea limitatorului s-a obținut un semnal care nu mai este sinusoidal, dar care nu este încă nici dreptunghiular, fronturile avînd o durată destul de mare în comparație cu durata semnalului. Pentru a obține fronturi cît mai bune semnalele obținute după prima limitare se amplifică și se limitează din nou. Cu cît amplificarea și limitarea se vor repeta de mai multe ori, cu atît forma semnalului obținut va fi mai apropiată de forma dreptunghiulară.

Generatoarele cu limitări și amplificări succesive sînt aparate complicate, dar cu o frecvență precisă și stabilă (calități asigurate de oscilatorul sinusoidal).

2. GENERATOARE DE SEMNALE DREPTUNGHIULARE CU CIRCUITE BASCULANTE ASTABILE

Semnalele dreptunghiulare pot fi generate și direct, folosind circuite basculante, dintre care cel mai frecvent se întîlnesc *circuitele basculante astabile*.

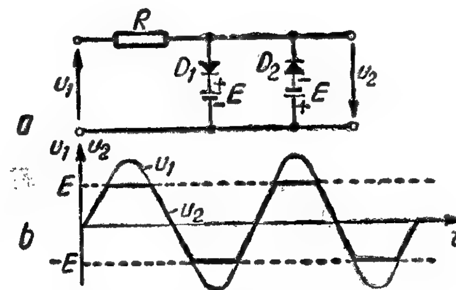


Fig. 16.11. Limitator cu diode.

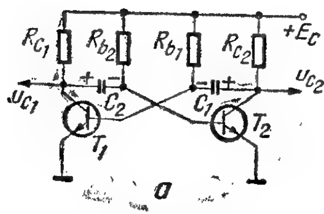
● **Un circuit basculant** este realizat cu două tranzistoare, T_1 şi T_2, conectate între ele în aşa fel încît niciodată cele două tranzistoare nu pot conduce simultan. Pentru un astfel de circuit sînt posibile **două** stări: una în care T_1 conduce şi T_2 este blocat şi a doua **în care** T_1 este blocat şi T_2 conduce. Trecerea dntr-o stare în alta **se face** rapid, de unde şi numele de circuit basculant.

● La un **circuit basculant astabil** cele două posibile stări **nu** sînt stabile, trecerea dintr-o stare în alta făcîndu-se **automat fără** nici o acţiune din exterior.

În figura 16.12, *a* este prezentată schema unui circuit **basculant** astfel realizat cu două tranzistoare *npn*, T_1 şi T_2.

● Pentru **analizarea funcţionării acestui circuit** se presupune **că** la un moment dat ($t = t_1$) se produce o basculare (tranzistorul T_1 care este blocat începe să conducă şi T_2 se blochează). **Variaţiile tensi**unilor u_{c1}, u_{c2}, u_{b1} şi u_{b2} sînt prezentate în figura 16.12, *b*. **La** $t > t_1$, după basculare, T_1 conduce şi în colectorul lui **tensiunea este** foarte mică ($u_{c1} = E_c - I_{c1}R_{c1}$); în schimb, în **colectorul lui** T_2, care este blocat, tensiunea este $u_{c2} = E_c$. Tensiunea în baza lui T_1 **este** $u_{b1} \cong 0{,}7$ V (tensiunea de deschidere a unui **tranzistor** *npn*). **Condensatorul** C_1 se încarcă rapid prin R_{c2} şi prin **joncţiunea emitor — bază** a lui T_1 pînă la o tensiune aproximativ **egală** cu E_c **cu** polaritatea din figură.

Baza tranzistorului T_2, care este blocat, este **legată** la **condensatorul** C_2, care în momentul basculării era încărcat la o **tensiune aproximativ** egală cu E_c, deci $u_{b2} \cong -E_c$. După basculare, **condensatorul** C_2 se descarcă prin R_{b2} pînă la zero, şi apoi tinde să se încarce **cu** polaritate inversă.



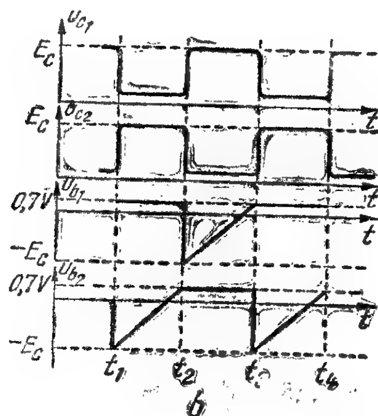


Fig. 16.12. Circuitul basculant astabil.

La $t = t_2$, tensiunea pe condensatorul C_2 ajunge la valoarea tensiunii de deschidere a tranzistorului T_2 ($u_{b2} \cong 0{,}7$ V), T_2 începe să conducă şi automat T_1 se blochează, producîndu-se o nouă basculare. Timpul în care T_1 a fost în stare de conducţie şi T_2 a fost blocat depinde de timpul de descărcare a condensatorului C_2, deci de constanta de timp $\tau_2 = C_2R_{b2}$.

După cea de-a doua basculare T_1 este blocat şi în colectorul lui tensiunea este $u_{c1} = E_c$, în timp ce T_2 conduce şi tensiunea $u_{c2} = E_c - I_{c2}R_{c2}$ este mică. De această dată condensatorul C_1, care în momentul basculării era încărcat la o **tensiune** de aproximativ E_c, se descarcă prin R_{b1} pînă la zero şi tinde apoi să se încarce cu polaritate inversă.

La $t = t_3$, $u_{b1} \cong 0{,}7$ V şi ca urmare T_1 începe să conducă şi implicit T_2 se blochează. Timpul în care T_2 a fost în stare de conducţie şi T_1 a fost blocat depinde de constanta de timp de descărcare a condensatorului C_1, $\tau_1 = C_1R_{b1}$.

În continuare, fenomenele se repetă astfel încît tensiunile în colectoarele celor două tranzistoare variază după o formă dreptunghiulară. Dacă $\tau_1 = \tau_2$ se obţin semnale dreptunghiulare la care cele două alternanţe sînt egale. Dacă $\tau_1 \neq \tau_2$ se obţin semnale cu alternanţe neegale.

Frecvenţa semnalelor dreptunghiulare obţinute depinde de valorile elementelor C_1, R_{b1}, C_2 şi R_{b2} şi poate fi reglată variind aceste elemente.

● **Generatoarele de semnale dreptunghiulare cu circuite astabile mai conţin** un limitator pentru netezirea palierelor, *un amplificator* care asigură nivelul necesar la ieşire şi impedanţa de ieşire şi, eventual, un *atenuator calibrat*.

D. GENERATOARE DE TENSIUNI LINIAR-VARIABILE (TLV)

Generatoarele TLV se întîlnesc într-o mare varietate constructivă. În general, obţinerea tensiunilor liniar-variabile se bazează pe *încărcarea şi descărcarea unui condensator sub curent constant*, aşa cum s-a văzut şi la generatoarele bază de timp ale osciloscoapelor.

Tensiunile liniar-variabile se pot obţine şi *din tensiuni dreptunghiulare, folosind* circuite de formare cunoscute sub numele de *circuite de integrare*.

Un **circuit de integrare** este un circuit *RC* cu ieşire pe condensator (fig. 16.3, *a*) la care constanta de timp $\tau = RC$ este mult mai mare decît perioada de repetiţie a semnalelor ce se aplică la intrare. După cum se observă, tensiunea la ieşirea unui astfel de circuit este tensiunea

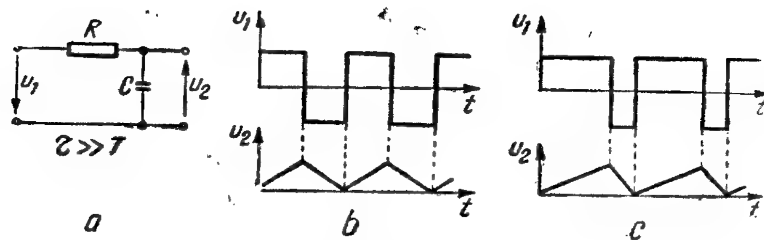


Fig. 16.13. Circuit de integrare.

de la bornele condensatorului. Aplicînd la intrare un semnal dreptunghiular, în timpul alternanțelor pozitive condensatorul se încarcă și, datorită constantei mari de timp, tensiunea la bornele sale crește liniar. Din același motiv, în timpul alternanțelor negative, cînd condensatorul se descarcă, tensiunea la bornele sale descrește liniar. În acest mod semnalele dreptunghiulare se transformă în semnale triunghiulare la care tensiunea variază liniar în timp.

Dacă semnalele dreptunghiulare aplicate la intrare au alternanțele egale, semnalul de la ieșire va fi de forma unor triunghiuri isoscele (fig. 16.13, *b*). Dacă semnalul aplicat la intrare are alternanțele neegale, tensiunea de la ieșire va prezenta pante de creștere și descreștere diferite (fig. 16.13, *c*).

E. GENERATOARE DE IMPULSURI SCURTE

În foarte multe aplicații practice se folosesc semnale sub forma unor impulsuri scurte, adică la care durata impulsurilor este mult mai mică decît perioada lor de repetiție.

Impulsurile scurte se obțin de obicei *din semnale dreptunghiulare, folosind* circuite de formare cunoscute sub numele de *circuite de derivare.*

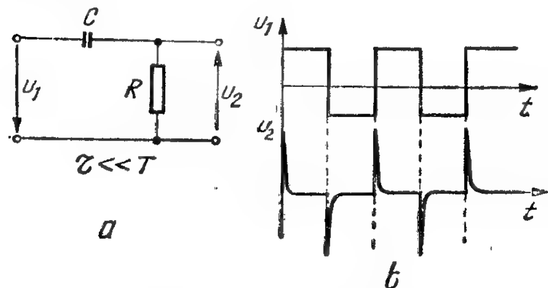


Fig. 16.14. Circuit de derivare.

Un **circuit de derivare** (fig. 16.14, *a*) este un circuit *RC* cu ieșire pe rezistență, la care constanta de timp $\tau = RC$ este mult mai mică decît perioada de repetiție a semnalelor ce se aplică la intrare. Tensiunea la ieșire este proporțională cu curentul de încărcare sau de descărcare al condensatorului. Dacă constanta de timp este foarte mică, condensatorul se încarcă și se descarcă rapid, iar la ieșire se culege semnal numai pe durata încărcării și, respectiv, a descărcării condensatorului.

În figura 16.14, *b* s-au reprezentat graficele semnalelor de la intrarea și de la ieșirea unui circuit de derivare.

PROBLEME ȘI ÎNTREBĂRI RECAPITULATIVE

1. Ce se înțelege printr-un generator de funcții?
2. Un generator de joasă frecvență funcționînd în intervalul 10 Hz—10 MHz poate înlocui un generator de audiofrecvență?
3. Un generator de semnal avînd impedanța de ieșire de 20 Ω este un generator de tensiune constantă sau de curent constant?
4. Cum se poate transforma un generator de tensiune constantă într-un generator de curent constant?
5. Cît este nivelul semnalului obținut la ieșirea de nivel mic a unui generator de semnal, dacă voltmetrul montat pe ieșirea de nivel mare indică 1,5 V, iar atenuatorul este pe poziția 1/100?

Capitolul 17

APARATE ELECTRICE ȘI ELECTRONICE PENTRU MĂSURAREA MĂRIMILOR NEELECTRICE

În condițiile tehnicii moderne, aparatele electrice și electronice sînt folosite pe scară largă la măsurarea unui număr mare de mărimi neelectrice, în diferite domenii de activitate. Utilizarea acestor aparate s-a dezvoltat odată cu automatizarea proceselor tehnologice, cu introducerea calculatoarelor în prelucrarea datelor, cu utilizarea sistemelor de măsurare și telemăsurare etc.

● **Măsurarea mărimilor neelectrice cu aparate electrice și electronice** prezintă față de metodele neelectrice unele avantaje, cum sînt:
— precizie ridicată;
— viteză mare de măsurare;
— posibilități simple de măsurare în puncte multiple;
— posibilitatea automatizării proceselor de măsurare;
— posibilitatea prelucrării rapide a rezultatelor cu calculatoare;
— posibilitatea înregistrării sau stocării rezultatelor;
— posibilitatea măsurării la distanță (telemăsurări);
— posibilitatea centralizării datelor (rezultatelor).

● **Aparatele electrice și electronice pentru măsurarea mărimilor neelectrice**, deși sînt de o mare diversitate, au în general o **structură** comună, care este reprezentată sub formă simplificată în figura 17.1.

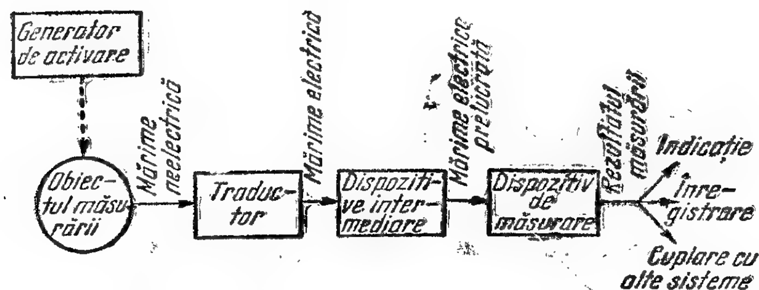


Fig. 17.1. Structura generală a aparatelor electrice pentru măsurarea mărimilor neelectrice.

Ele conțin un *traductor, dispozitive intermediare* și *dispozitivul de măsurat*.

Traductorul este un dispozitiv care convertește mărimea neelectrică de la intrarea sa într-o mărime electrică obținută la ieșire.

Dispozitivele intermediare prelucrează mărimea electrică obținută la ieșirea traductorului, pentru a putea fi aplicată dispozitivului de măsurat (dacă este prea mică o amplifică, dacă este o mărime alternativă o redresează etc.).

Dispozitivul de măsurat transformă mărimea electrică de la intrarea sa într-o informație — rezultat al măsurării (produce la ieșire o mărime direct sesizabilă de operator sau aplicabilă unui înregistrator, unui calculator, unui dispozitiv de reglaj etc.).

A. TRADUCTOARE

1. CLASIFICAREA TRADUCTOARELOR

În aparatele electrice pentru măsurarea mărimilor neelectrice se folosește o mare varietate de traductoare. Ele se pot clasifica după mai multe criterii.

● **După natura mărimii neelectrice de la intrare,** traductoarele pot fi:
— *traductoare pentru mărimi geometrice* (lungime, arie, volum, grosime, nivel, unghi etc.);
— *traductoare pentru mărimi mecanice* (masă, forță, presiune, debit, viteză de rotație etc.);
— *traductoare de temperatură;*
— *traductoare pentru mărimi fotometrice;*
— *traductoare pentru radiații;*
— *traductoare pentru mărimi de compoziție* (concentrație etc.);
— *traductoare pentru mărimi de material* (densitate, viscozitate etc.

● **După principiul de funcționare,** traductoarele pot fi:
— *traductoare generatoare,* care produc un semnal electric fără să fie alimentate cu energie electrică (de exemplu, termocupluri, tahogeneratoare, dispozitive fotoelectrice);
— *traductoare parametrice,* care necesită alimentare electrică și furnizează semnalul de ieșire sub forma variației unui parametru (de exemplu, termorezistențe, traductoare inductive sau capacitive, de deplasare).

● **După mărimea de la ieșire,** traductoarele pot fi:
— *traductoare analogice,* la care mărimea de la ieșire variază continuu;

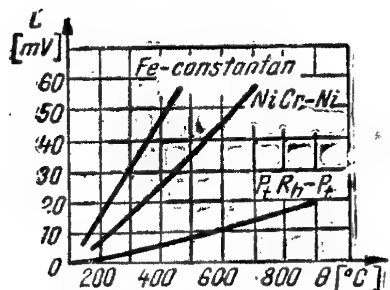


Fig. 17.2. Caracteristicile statice ale unor termocupluri.

— *traductoare digitale*, la care mărimea de la ieșire variază discontinuu, după un anumit cod.

2. CARACTERISTICILE TRADUCTOARELOR

● **Caracteristica statică** *reprezintă dependența între mărimea de ieșire și mărimea de intrare.* Ea se poate exprima printr-o ecuație, $y = f(x)$, sau prin reprezentarea grafică. În figura 17.2 sînt reprezentate caracteristicile statice ale unor termocupluri.

● **Caracteristica dinamică** *reprezintă variația în timp a mărimii de ieșire la o anumită variație a mărimii de intrare.* În general un traductor trebuie să aibă o inerție cît mai mică și să urmărească cît mai fidel variațiile mărimii de intrare.

● **Precizia** traductorului se apreciază prin *eroarea tolerată* sau prin *clasa de precizie*, care este raportul între eroarea absolută maximă și intervalul de măsurare al traductorului respectiv. Majoritatea traductoarelor fabricate la IEA realizează o precizie de 0,5%.

● **Sensibilitatea** *exprimă raportul între variația mărimii de ieșire și variația mărimii de intrare.*

B. APARATE PENTRU MĂSURAREA TEMPERATURII

Temperatura este o mărime care caracterizează starea de încălzire a corpurilor. Măsurarea temperaturii unui corp se bazează pe schimbul de căldură între corpuri cu grade diferite de încălzire și pe variația cu temperatura a proprietăților fizice ale unor materiale.

Măsurarea temperaturii cu aparate electrice se realizează cel mai des folosind *traductoare de temperatură termoelectrice* sau *termorezistive*.

1. MĂSURATEA TEMPERATURII CU TRADUCTOARE TERMOELECTRICE

Traductoarele termoelectrice sînt realizate cu *termocupluri*.

a. PRINCIPIUL DE FUNCȚIONARE AL TERMOCUPLURILOR

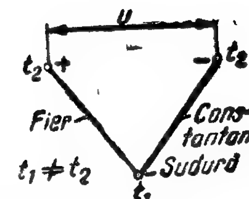


Fig. 17.3. Funcționarea unui termocuplu.

Un termocuplu (fig. 17.3) este un ansamblu alcătuit din două fire din materiale de conductibilități diferite, sudate între ele la unul dintre capete. Prin încălzirea locală a sudurii, la capetele libere apare o diferență de potențial (o tensiune termoelectromotoare). Valoarea acestei tensiuni depinde de materialele din care este făcut termocuplul și de diferența de temperatură dintre punctul de sudură și capetele libere (efect termoelectric sau efect Seebeck).

Explicația fenomenului termoelectric se bazează pe potențialul de ieșire al electronilor liberi din metale. În cazul sudurii între două materiale de conductibilități diferite, va avea loc o difuzie a electronilor liberi din materialul cu conductibilitate mai mare (cu mai mulți electroni liberi) în materialul de conductibilitate mai mică. Din acest motiv, materialul cu conductibilitate mai mare se încarcă pozitiv (a cedat electroni), iar cel cu conductibilitate mai mică se încarcă negativ (a primit electroni) și la capetele libere apare o diferență de potențial. Fenomenul de difuzie este cu atît mai intens cu cît temperatura sudurii este mai mare, ceea ce explică dependența ntre valoarea tensiunii termoelectromotoare și diferența de temperatură între sudură și capetele. bere ale termocuplului.

b. CONSTRUCȚIA TERMOCUPLURILOR

Termocuplurile sînt utilizate pentru măsurarea temperaturilor mari între 300°C și 1 600°C. Practic un termocuplu (fig. 17.4) este realizat din doi electrozi sub formă de fire sau benzi, sudați între ei la un capăt (*1* — punctul de sudură). Pentru o bună funcționare a termocuplului este necesară protejarea acestuia împotriva acțiunii gazelor fierbinți sau corosive care pot distruge electrozii. Din acest motiv, termocuplul se introduce într-o teacă de protecție *2*. Capătul termocuplului opus sudurii formează o cutie *3* unde se găsesc bornele de legătură. Pentru a proteja conexiunile cutiei, acesta se închide cu un capac *4*. Electrozii sînt izolați electric între ei și fiecare față de teaca de protecție, cu mărgele izolatoare *5*.

În România se fabrică: termocupluri din platină cu platină-rodiu, cu precizie foarte ridicată, folosite pentru măsurarea temperaturilor

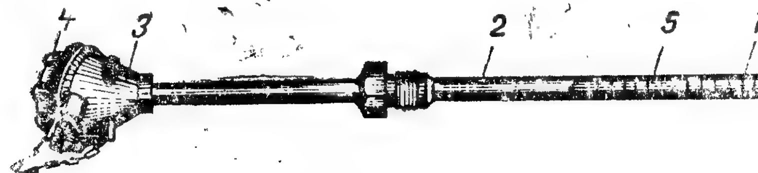


Fig. 17.4. Construcția unui termocuplu.

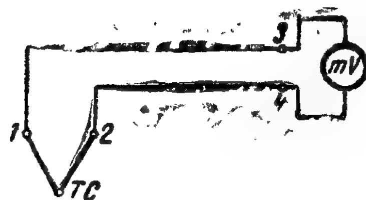


Fig. 17.5. Conectarea unui termocuplu la un aparat.

pînă la (1 300—1 400) °C; termocupluri din cromel cu alumel, folosite în intervalul de temperaturi (0—1 200) °C, termocupluri din fier cu constantan, folosite în intervalul de temperaturi (0—550) °C ş.a.

a. CONECTAREA TERMOCUPLURILOR LA APARATELE DE MĂSURAT

Măsurarea cu termocupluri este precisă numai dacă se menţine constantă temperatura capetelor libere. Deoarece temperatura capetelor libere este adeseori variabilă, fiind influenţată de punctul cald, termocuplurile se prelungesc pînă într-o zonă cu temperatură constantă, unde se află dispozitivul de măsurat, cu conductoare de legătură. Aceste conductoare trebuie să fie realizate din aceleaşi materiale ca şi termocuplul sau (în cazul termocuplurilor — din materiale nobile) din alte materiale mai ieftine, dar care sînt identice din punct de vedere termoelectric cu materialele termocuplului, astfel încît în punctele de legătură să nu se dezvolte tensiuni termoelectromotoare suplimentare. În acest caz, capetele reci ale termocuplului (punctele *1* şi *2* în figura 17.5) pot avea temperatura variabilă într-un interval restrîns, în timp ce punctele *3* şi *4* — fiind la distanţă — pot fi menţinute mai uşor la o temperatură constantă.

2. MĂSURAREA TEMPERATURILOR CU TRADUCTOARE TERMOREZISTENTE

Traductoarele termorezistive se întîlnesc în două variante: *termorezistenţe şi termistoare.*

a. TERMOREZISTENŢELE

Termorezistenţele sînt utilizate pe scară largă în industrie la măsurarea temperaturilor cuprinse între —200 °C şi +500 °C. Principiul de funcţionare al termorezistenţelor se bazează pe proprietatea materialelor conductoare (Pt, Cu, Ni, Fe) de a-şi modifica rezistenţa electrică în funcţie de temperatură. Această variaţie se poate exprima cu relaţia:

$$R_t = R_0(1 + \alpha t), \qquad (17.1)$$

unde α este coeficientul de variaţie cu temperatura al rezistenţe electrice.

Din punct de vedere constructiv, termorezistenţele se prezintă sub formă de fire sau benzi care se înfăşoară pe un suport cilindric sau sub formă de plăcuţă. Termorezistenţele sînt montate în cîte o teacă de protecţie şi sînt prevăzute cu o cutie cu borne ca la termocupluri.

În ţara noastră se fabrică termorezistenţe din platină utilizate în intervalul (—200. . . +500) °C şi termorezistenţe din cupru (care sînt mai ieftine) utilizate în intervalul de temperatură (0. . . +120) °C.

b. TERMISTOARE

Termistoarele sînt traductoare termorezistive realizate din materiale semiconductoare. Variaţia rezistenţei unui termistor în funcţie de temperatură este:

$$R_t = R_0 e^{\frac{b}{T}}, \qquad (17.2)$$

unde T este temperatura absolută, iar b — o constantă care depinde de materialul din care este făcut termistorul. După cum se vede din relaţia (17.2), coeficientul de variaţie a rezistenţei unui termistor cu temperatura este negativ.

● În comparaţie cu termorezistenţele, termistoarele prezintă următoarele **avantaje:**

— au sensibilitatea mare deoarece coeficientul de variaţie al rezistenţei cu temperatura este mare;

— pot fi folosite la măsurări la distanţă deoarece rezistenţa lor fiind mare, se poate neglija rezistenţa conductoarelor de legătură;

— au dimensiuni reduse şi inerţie termică mică.

● **Dezavantaje.** Termistoarele sînt mai instabile decît termorezistenţele metalice, au dispersie mare a valorilor parametrilor, caracteristică puternic neliniară şi temperatură maximă de utilizare mai redusă.

● **Pentru măsurarea temperaturilor** cu traductoare termorezistive, acestea se folosesc în ***montaje de punte echilibrate*** sau ***neechilibrate.***

În figura 17.6 este reprezentată o **punte echilibrată automată.** Traductorul termorezistiv este conectat într-un braţ al punţii, iar în alt braţ este prevăzută o rezistenţă variabilă. La creşterea temperaturii, rezistenţa

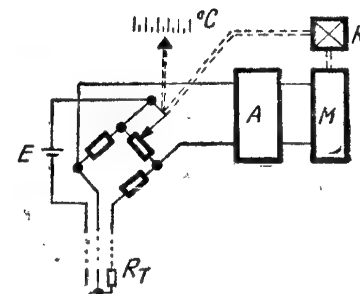


Fig. 17.6. Punte echilibrată automată cu traductor termorezistiv.

electrică R_T a traductorului se modifică şi puntea se dezechilibrează. Tensiunea de dezechilibru este amplificată de amplificatorul A şi se aplică unui motor, care prin intermediul unui reductor schimbă poziţia cursorului rezistenţei variabile. Cînd puntea este adusă la echilibru prin varierea rezistenţei reglabile, motorul se opreşte. Poziţia cursorului va depinde de variaţia rezistenţei R_T. Prin urmare, poziţia cursorului rezistenţei variabile poate indica direct (printr-o gradare corespunzătoare) valori ale temperaturii.

Pe acest principiu se produc la Întreprinderea de Elemente de Automatizare din Bucureşti diferite aparate indicatoare şi înregistratoare pentru măsurarea temperaturilor.

PROBLEME ŞI INTREBĂRI RECAPITULATIVE

1. Care sînt avantajele măsurării mărimilor neelectrice cu aparate de măsurat electrice sau electronice?
2. Prin ce se deosebesc traductoarele generatoare de traductoarele parametrice?
3. Explicaţi funcţionarea unui termocuplu!
4. În ce interval de temperatură se utilizează termocuplurile? Dar termorezistenţele?
5. Comparaţi avantajele şi dezavantajele termorezistenţelor şi termistoarelor!

CUPRINS

Coli de tipar: 13,5
Format: 16/70 100
Bun de tipar: 26 august 1991
Nr. plan: 20.012 Ediția 1991

Tiparul executat la:
Imprimeria „ARDEALUL"
Municipiul Cluj, B-dul 22 Decembrie Nr. 146
ROMÂNIA
Comanda nr. 36

Lei 42,–

EDITURA DIDACTICĂ ŞI PEDAGOGICĂ
BUCUREŞTI — 1991

ISBN 973-30-1635-7

